



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
Π.Μ.Σ. ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

ΚΑΥΣΗ - ΠΥΡΟΛΥΣΗ - ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ»



ΣΠΕΡΕΖΗ Ν. ΧΡΙΣΤΙΝΑ
ΧΗΜΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΨΗ : Β. ΓΚΕΚΑΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Αυγουστος, 2007

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω ορισμένα άτομα, τα οποία με στήριξαν και με βοήθησαν στην πραγματοποίηση αυτής της διατριβής.

Οφείλω, λοιπόν, να ευχαριστήσω τον καθηγητή, κύριο Βασίλη Γκέκα, για την ανάθεση του θέματος, την επίβλεψη της παρούσας διατριβής την υποστήριξη και την πολύτιμη βοήθειά του.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον καλό μου φίλου Αντωνίου Αντώνη για τις συμβουλές την συμπαράσταση και κατανόηση του. Ευχαριστώ και τον φίλο Ξεκουκουλωτάκη Νίκο για την βοήθειά του στο ξεκίνημα της εργασίας.

Επίσης ευχαριστώ θερμά την οικογένεια μου για την αμέριστη συμπαράσταση και βοήθειά τους καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη

i

Πρόλογος

ii

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

1.1 Εισαγωγή

1.2 Θερμική επεξεργασία

1.2.1 Στόχοι της θερμικής επεξεργασίας

1.2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της θερμικής επεξεργασίας

1.3 Σύσταση στερεών αποβλήτων - απορριμμάτων

1.4 Θερμογόνος δύναμη των απορριμμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΚΑΥΣΗ

2.1 Γενικά

2.2 Καύση

2.3 Βασικά Χαρακτηριστικά της Καύσης Απορριμμάτων

2.3.1 Μηχανισμός καύσης

2.3.2 Εκτίμηση απαιτούμενων ποσοτήτων αέρα

2.3.3 Τα Αστικά Στερεά Απορρίμματα (ΑΣΑ) ως καύσιμη ύλη

2.3.4 Ενεργειακό ισοζύγιο και ανάκτηση ενέργειας

2.4 Περιγραφή της διαδικασίας της καύσης

2.4.1 Έλεγχος της διαδικασίας της καύσης

2.4.2 Προσαγωγή και τάφρος

2.4.2.1 Προσαγωγή

2.4.2.2 Ζυγιστήριο

2.4.2.3 Δειγματοληπτικός έλεγχος

2.4.2.4 Ομογενοποίηση και στοίβαγμα των απορριμμάτων

2.4.2.5 Θρυμματισμός ογκωδών απορριμμάτων

2.4.2.6 Τάφρος απορριμμάτων

2.4.3 Σύστημα τροφοδοσίας

2.4.3.1 Γερανογέφυρα

2.4.3.2 Αρπάγη

2.4.3.3 Αίθουσα ελέγχου γερανού

2.4.4 Χοάνη Τροφοδοσίας

2.4.5 Συμβατικές μέθοδοι

2.4.5.1 Γενικά

2.4.6 Είδη εστίας καύσης

2.4.6.1 Εστία εσχαρών

2.4.6.2 Θερμική επεξεργασία με εστία τύπου ρευστοποιημένης κλίνης

2.4.6.3 Θερμική επεξεργασία με περιστρεφόμενο κλίβανο

2.4.7 Είδη θαλάμου καύσης

2.4.7.1 Μαζική καύση

2.4.7.2 Τμηματική καύση

2.4.7.3 Καύση ΚαΣ

2.4.8 Σύστημα απομάκρυνσης υπολειμμάτων

2.4.9 Εκμετάλλευση ενέργειας

2.4.10 Λέβητας

- 2.4.11 Κύκλωμα νερού-ατμού
- 2.4.12 Προβλήματα διάβρωσης
- 2.5 Τα Προϊόντα της Καύσης**
 - 2.5.1 Κυριότεροι Ρύποι
- 2.6 Νομοθεσία**
 - 2.6.1 Έλεγχος εκπομπών
- 2.7 Εισαγωγή στα μέτρα για την ελάττωση των ρύπων**
 - 2.7.1 Εκπομπές ρύπων και καθαρισμός απαερίων
 - 2.7.2 Συστήματα Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης
- 2.8 Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων**
- 2.9 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα καύσης**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΥΡΟΛΥΣΗ

- 3.1 Εισαγωγή**
- 3.2 Περιγραφή της διαδικασίας**
 - 3.2.1 Περιγραφή μονάδας πυρόλυσης
 - 3.2.2 Τύποι κλιβάνων
 - 3.2.3 Έλεγχος μονάδων πυρόλυσης
- 3.3 Εκπομπές από μονάδες Πυρόλυσης**
- 3.4 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα πυρόλυσης**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ

- 4.1 Εισαγωγή**
- 4.2 Περιγραφή της διαδικασίας**
 - 4.2.1 Αεριοποιητές
 - 4.2.2 Εκπομπές από μονάδες αεριοποίησης
- 4.3 Πλεονεκτήματα της αεριοποίησης - επιπτώσεις στο περιβάλλον**
- 4.4 Αεριοποίηση πλάσματος**
 - 4.4.1 Εισαγωγή
 - 4.4.2 Διαδικασία αεριοποίησης πλάσματος
 - 4.4.2.1 Χειρισμός υλικών
 - 4.4.2.2 Ο θερμικός μετασχηματισμός των απορριμμάτων
 - 4.4.2.3 Επεξεργασία παραγόμενων αερίων
 - 4.4.2.4 Παραγωγή ατμού και ενέργειας
 - 4.4.3 Παράμετροι λειτουργίας αεριοποίησης πλάσματος
 - 4.4.4 Προϊόντα της αεριοποίησης πλάσματος
 - 4.4.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

- 5.1 Εισαγωγή**
- 5.2 Σύγκριση**
- 5.3 Συμπεράσματα - Επίλογος**

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα της σύγχρονης κοινωνίας είναι αναμφισβήτητη η διάθεση και διαχείριση των απορριμμάτων, τα οποία προκαλούν ρύπανση του περιβάλλοντος και των οποίων ο όγκος ολοένα και αυξάνεται. Η σημαντική αύξηση της ποσότητάς τους τα τελευταία χρόνια και η συνεχής επιβάρυνσή τους με ρυπαντικές ουσίες κατέστησαν αδύνατη την αφομοίωση τους με φυσικές μεθόδους. Αναπτύχθηκε έτσι, σύγχρονη τεχνολογία με στόχο την αποτελεσματικότερη διαχείριση τους. Η αυτόματη συλλογή, η μεταμόρφωση, η υγειονομική ταφή, η λιπασματοποίηση και η θερμική επεξεργασία αποτελούν πεδία έρευνας με σημαντική τεχνολογική εξέλιξη.

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας αποτελεί η θερμική επεξεργασία των στερεών αποβλήτων. Σκοπός της θερμικής επεξεργασίας είναι η ελάττωση του όγκου των απορριμμάτων, η μετατροπή τους σε υλικά (αέρια, υγρά και στερεά) μη επιβλαβή για την υγεία και η κατά το δυνατόν εκμετάλλευση της ευρισκόμενης στα απορρίμματα ενέργειας ως θέρμανση, ατμό, ηλεκτρικό ρεύμα, ή καύσιμο υλικό.

Οι τεχνικές *θερμικής επεξεργασίας* μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- αποτέφρωση – καύση (incineration - combustion)
- πυρόλυση (pyrolysis)
- αεριοποίηση (gasification)

Είναι φανερό ότι τα απορρίμματα δεν αποτελούν μια εύκολη καύσιμη ύλη αν λάβει κανείς υπόψη του την ανομοιογενή και όχι σταθερή σύνθεση τους από οργανική και ανόργανη ύλη. Στη σύγχρονη διαχείριση των απορριμμάτων εφαρμόζονται κυρίως η καύση και η πυρόλυση, στις οποίες επεξεργάζονται τα απορρίμματα που δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αδρανοποιηθούν με παράλληλη μείωση του όγκου τους και χρήση της θερμογόνου τιμής τους. Η αεριοποίηση αποτελεί μια σχετικά νέα αλλά πολλά υποσχόμενη τεχνική.

Οι τρεις αυτές τεχνικές στη παρούσα εργασία περιγράφονται αναλυτικά ως αναφορά τις διεργασίες που επιτελούνται, τα χαρακτηριστικά τους και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους. Στο τέλος πραγματοποιείται σύγκρισή των τεχνικών αυτών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

1.1 Εισαγωγή

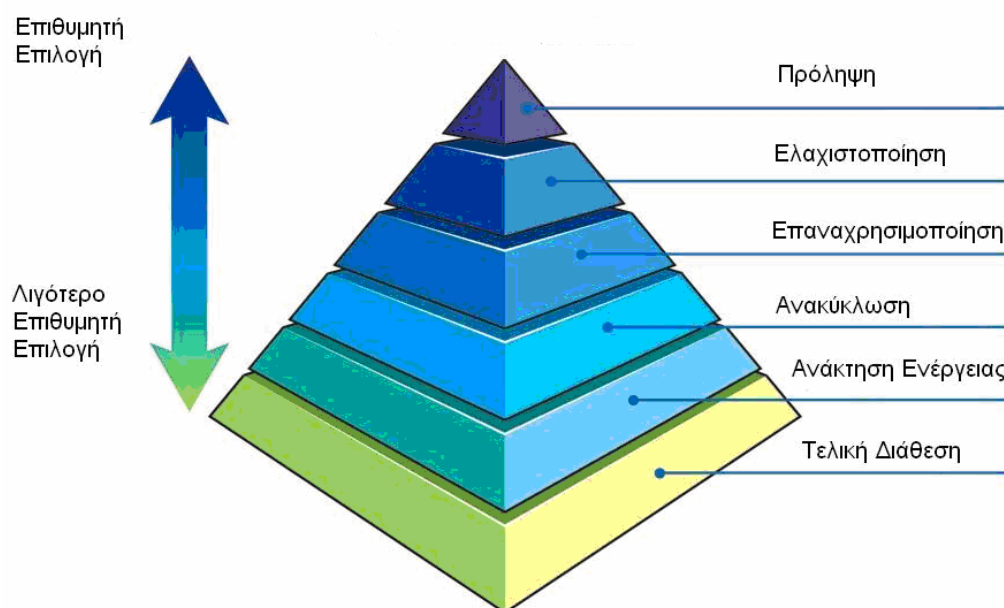
Το περιβάλλον ορίζεται ως «το σύνολο των φυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων και στοιχείων που βρίσκονται σε αλληλεπίδραση και επηρεάζουν την οικολογική ισορροπία, την ποιότητα της ζωής, την υγεία των κατοίκων την ιστορική και πολιτιστική παράδοση και τις αισθητικές αξίες». Επιτακτική είναι η ανάγκη της σύγχρονης κοινωνίας, με τα τόσα περιβαλλοντικά προβλήματα, για διαχείριση του περιβάλλοντος κατά αειφόρο τρόπο. Δηλαδή κατά τρόπο, ο οποίος θα ικανοποιεί τις ανάγκες των σημερινών γενεών, χωρίς να διακυβεύει τη δυνατότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες.

Ένας από τους παράγοντες, που αποτελούν σημαντική επιβάρυνση για το περιβάλλον είναι τα στερεά απόβλητα τα οποία είναι αναγκαίο «παραπροϊόν» του πολιτισμού μας. Ο όγκος των παραγομένων αυτών αποβλήτων διαρκώς αυξάνεται λόγω της αύξησης του ρυθμού ανάπτυξης αλλά και της αλλαγής στα καταναλωτικά πρότυπα.

Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1950 τα στερεά απόβλητα κατέληγαν διεθνώς σε χωματερές χωρίς ιδιαίτερα μέτρα προστασίας για την αποφυγή της ρύπανσης του υπεδάφους. Ως θέσεις χωματερών επιλέγονταν και δυστυχώς ακόμα και στις μέρες μας επιλέγονται φυσικές κοιλότητες σε απομακρυσμένες από αστικές περιοχές, θέσεις σε λατομεία που δεν λειτουργούν κ.λ.π. Σήμερα, με την ανάπτυξη της τεχνολογίας της σχετικής με τα στερεά απόβλητα προσφέρονται πολλά συστήματα επεξεργασίας αυτών. Οι σημαντικότερες μέθοδοι επεξεργασία και διάθεσης των στερεών αποβλήτων που χρησιμοποιούνται διεθνώς είναι η υγειονομική ταφή, η ανάκτηση υλικών, η καύση για παραγωγή ενέργειας, η πυρόλυση, η λιπασματοποίηση, η μεθανογέννεση και η καύση των οικιακών απορριμμάτων σε κλίβανο παραγωγής τσιμέντου και λιγότερο η αεριοποίηση.

Η Κοινοτική και Εθνική Νομοθεσία για τη διαχείριση στερεών αποβλήτων, όπως εκφράζονται από την Οδηγία 1991/156/EU και την ΚΥΑ 50910/03 αντίστοιχα, θέτουν τις βάσεις και τους στόχους για την αποτελεσματική και αειφορική διαχείριση των στερεών αποβλήτων στον 21 αιώνα.

Άμεση προτεραιότητα δίδεται στην μείωση των απορριμμάτων στην πηγή παραγωγής θέτοντας αρχές όπως "ο ρυπαίνων πληρώνει" και "διαλογής στην πηγή". Τονίζεται ο ρόλος της ανακύκλωσης, ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης υλικών ιδιαίτερα για υλικά συσκευασίας και για επικίνδυνα απόβλητα, τα οποία και πρέπει να διαχωρίζονται από τα υπόλοιπα απορρίμματα στην πηγή παραγωγής τους. Απόβλητα που δεν δύναται να ανακυκλωθούν ή να επαναχρησιμοποιηθούν συνίσταται ιεραρχικά η ενεργειακή αξιοποίησή τους.



Σχήμα 1.1: Ιεράρχηση επιλογών για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων

Τα απορρίμματα πλέον δεν θεωρούνται άχρηστα υλικά για ταφή, αλλά τονίζεται η ανάγκη αξιοποίησής τους με σκοπό την ανάκτηση ενεργειακών προϊόντων όπως βιοαερίου (αναερόβια χώνευση) και θερμότητας ή ηλεκτρισμού (καύση, πυρόλυση).

Παρατηρείται λοιπόν, ότι εφαρμόζοντας τις παραπάνω αρχές στη διαχείρισης των απορριμμάτων, τα τελευταία, όχι μόνο δεν θα αποτελούν επιβάρυνση για το περιβάλλον, αλλά θα μπορούν να θεωρηθούν ως μια πολύ σημαντική πηγή ενέργειας και μάλιστα σε μια εποχή όπου οι φυσικοί πόροι εξαντλούνται. Έτσι, δίνεται λύση στην εύρεση νέων πηγών ενέργειας, καθώς μπορούν να χρησιμοποιούνται και τα απορρίμματα, σε συνδυασμό με τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (αιολική, ηλιακή), για την παραγωγή ενέργειας.

1.2 Θερμική επεξεργασία

Η θερμική επεξεργασία των ΑΣΑ, τόσο για μείωση όγκου όσο και για ανάκτηση ενέργειας αποτελεί ενδιαφέρουσα εφαρμογή στα πλαίσια ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων. Με τη θερμική επεξεργασία γίνεται μετατροπή των μη δυνάμενων για επαναχρησιμοποίηση στερεών απορριμμάτων σε αέρια, και στερεά προϊόντα ενδεχόμενα δέ και υγρά, με ταυτόχρονη ή επακόλουθη απελευθέρωση θερμικής ενέργειας. Είναι, μια δοκιμασμένη μέθοδος διάθεσης των απορριμμάτων και εφαρμόζεται ως επί το πλείστον σε χώρες οι οποίες αντιμετωπίζουν πρόβλημα χώρου (γης).

Τα συστήματα θερμικής επεξεργασίας μπορούν να διαχωριστούν με βάση τις ανάγκες τους σε οξυγόνο (αέρα). Η καύση με την ακριβή ποσότητα οξυγόνου που χρειάζεται για πλήρη καύση είναι γνωστή ως *στοιχειομετρική καύση*. Η καύση με περισσότερο οξυγόνο από το αναγκαίο για την στοιχειομετρική καύση ονομάζεται *καύση με περίσσεια οξυγόνου*. Και στις δύο περιπτώσεις χρησιμοποιείται ο όρος αποτέφρωση (incineration-combustion). Η *αεριοποίηση* (gasification) είναι η μερική καύση των στερεών απορριμμάτων κάτω από υποστοιχειομετρικές συνθήκες για την παραγωγή ενός μίγματος αερίων το οποίο περιέχει μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και κορεσμένους υδρογονάνθρακες. Η *πυρόλυση* (pyrolysis) είναι η θερμική επεξεργασία των στερεών απορριμμάτων σε πλήρη απουσία οξυγόνου.

Είναι φανερό ότι τα απορρίμματα δεν αποτελούν μια εύκολη καύσιμη ύλη αν λάβει κανείς υπ' όψιν του την ανομοιογενή και όχι σταθερή σύνθεση τους από οργανική και ανόργανη ύλη. Σημασία για την επιτυχημένη εφαρμογή της θερμικής επεξεργασίας έχει η γνώση της σύστασης αυτών και κυρίως της θερμογόνου δύναμής τους, που συνήθως η τιμή της κυμαίνεται περίπου στα 2500 kcal/kg, δηλαδή στο 30-40% της αντίστοιχης δύναμης του άνθρακα που χρησιμοποιείται ως καύσιμο στη βιομηχανία. Η βασική πηγή της θερμογόνου δύναμης των στερεών απορριμμάτων είναι η κυτταρίνη που περιέχεται κυρίως στο χαρτί, στο χαρτόνι και στα πλαστικά.

1.2.1 Στόχοι της θερμικής επεξεργασίας

Οι σημαντικότεροι στόχοι της θερμικής επεξεργασίας είναι

- η ελάττωση του όγκου των απορριμμάτων, οπότε και η ελαχιστοποίηση της ποσότητας των απορριμμάτων που οδηγούνται στους ΧΥΤΑ,
- η μετατροπή τους σε υλικά μη επιβλαβή για την υγεία δηλαδή η αδρανοποίηση τους,

- η εκμετάλλευση της θερμογόνου δύναμής τους προς ανάκτηση ενέργειας (θέρμανση, ατμό, ηλεκτρικό ρεύμα, ή καύσιμο ύλη),
- η μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης.

1.2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της θερμικής επεξεργασίας

Η θερμική επεξεργασία των στερεών αποβλήτων διαθέτει τα εξής βασικά πλεονεκτήματα:

- μειώνει τον όγκο τους σε μεγάλο βαθμό (έως και 90%),
- μειώνει τη μάζα τους έως και 70%,
- μπορεί να σχεδιασθεί τόσο για μικρές όσο και για μεγάλες ποσότητες αποβλήτων,
- μπορεί να επεξεργαστεί μεγάλο εύρος υλικών,
- οι απαιτήσεις για χώρο είναι πολύ μικρότερες συγκριτικά με τους ΧΥΤΑ,
- επιτυγχάνεται ανάκτηση και αξιοποίηση της παραγόμενης ενέργειας.
- είναι ανταγωνιστική των συμβατικών καυσίμων (κάρβουνο, αέριο, πετρέλαιο) στην περίπτωση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα της θερμικής επεξεργασίας είναι:

- υψηλό κόστος κατασκευής,
- υψηλό κόστος λειτουργίας,
- ανάγκη απασχόλησης εξειδικευμένου προσωπικού,
- μη άμεση αξιοποίηση υλικών από τα απόβλητα,
- αυξημένη οπτική όχληση,
- περιορισμένη κοινωνική αποδοχή,
- δυσκολία αξιοποίησης της παραγόμενης θερμότητας (ιδίως σε μικρές εγκαταστάσεις),
- ένα μέρος της τέφρας είναι επικίνδυνο και απαιτεί ξεχωριστή επεξεργασία και χώρο διάθεσης επικινδύνων αποβλήτων για την τελική διάθεσή της,
- χρήση δαπανηρών συστημάτων ελέγχου και παρακολούθησης της προκαλούμενης ατμοσφαιρικής ρύπανσης,
- εκπομπές επικινδύνων ρύπων μέσω των καυσαερίων.

1.3 Σύσταση στερεών αποβλήτων - απορριμμάτων

Η σύσταση των απορριμμάτων δεν μπορεί να προσδιορισθεί επακριβώς λόγω της ανομοιογένειας και των διακυμάνσεων που παρουσιάζουν. Η γνώση όμως της σύστασης αποτελεί προϋπόθεση τόσο για τον σχεδιασμό όσο και για την λειτουργία μιας εγκατάστασης θερμικής επεξεργασίας καθώς επίσης για τον υπολογισμό του Ισοζυγίου μάζας - ενέργειας και των εκπομπών της μονάδας. Οι πιο σπουδαίες ιδιότητες των απορριμμάτων είναι:

- η ανώτερη θερμογόνος τιμή (kcal/kg),
- η κατώτερη θερμογόνος τιμή (kcal/kg),
- η περιεκτικότητα σε υγρασία (% κ.β.),
- η περιεκτικότητα σε τέφρα (% κ.β.),
- οι πτητικές ύλες (% κ.β.).

Γενικά, τα απορρίμματα από την πλευρά της δυνατότητας καύσης τους μπορούν να καταταγούν σε δύο κατηγορίες:

- αυτά που μπορούν να καούν όπως τα ζυμώσιμα υλικά, πλαστικό, χαρτί, ξύλο, ελαστικά, δέρμα, υφάσματα, κ.α., και
- αυτά που δεν καίγονται όπως το γυαλί, τα μέταλλα, τα αδρανή, κ.α.

Βασικά χαρακτηριστικά της σύστασης είναι το υψηλό ποσοστό σε ζυμώσιμα υλικά και πλαστικά. Οι διακυμάνσεις για τις κατηγορίες των υλικών χαρτί, πλαστικά, μέταλλα, γυαλί, ύφασμα, ξύλο, δέρμα, αδρανή και υπόλοιπα δεν είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Αντιθέτως, τα ζυμώσιμα υλικά, παρουσιάζουν αυξήσεις κατά τη θερινή περίοδο.

Η συμμετοχή του χαρτιού - χαρτονιού σε βαρέα μέταλλα είναι σχετικά χαμηλή. Οι τοξικές ουσίες προέρχονται από τα πρόσθετα, τα βοηθητικά υλικά και τα πιγμέντα. Τα πρόσθετα υλικά είναι ορυκτά (καολίνες – πηλός κλπ) ή συνθετικά (διοξείδιο του τιτανίου, υδροξείδιο του αλουμινίου κλπ). Επίσης, χαμηλή είναι και η τιμή του υδραργύρου, ο οποίος προέρχεται από βοηθητικά υλικά. Το χαρτί – χαρτόνι αποτελεί την κύρια πηγή για το φθόριο, και το θείο. Υπολογίζεται ότι το 50% του φθορίου και το 24% του θείου προέρχεται απ' αυτή την ομάδα υλικών.

Η περιεκτικότητα των απορριμμάτων σε υγρασία και τέφρα, καθώς και σε καύσιμη ύλη, εξαρτώνται από τη σύσταση των απορριμμάτων, το είδος δηλαδή των διαφόρων υλικών που περιέχονται σε αυτά. Η υγρασία που περιέχεται στα απορρίμματα αποτελεί εμπόδιο για την εύκολη καύση τους επειδή απαιτεί σημαντικό

ποσό ενέργειας για να απομακρυνθεί ώστε να μπορέσουν τα απορρίμματα να καούν και να αποδώσουν το θερμικό φορτίο που περιέχουν. Από την άλλη, η τέφρα αποτελείται από ανόργανα συστατικά που περιέχονται στα απορρίμματα (μέταλλα, γυαλί, και άλλα αδρανή όπως χώμα) τα οποία δε μπορούν να καούν και επιπρόσθετα θα πρέπει να απομακρυνθούν από το χώρο στον οποίο γίνεται η καύση των απορριμμάτων.

Ενδεικτική στοιχειακή ανάλυση των οικιακών απορριμμάτων παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.1.

Πίνακας 1.1: Στοιχεία ανάλυσης διαφόρων συστατικών των απορριμμάτων

| Υλικό | C | H | O | N | Cl | S | H ₂ O | Τέφρα |
|-------------------------|-------|------|-------|------|------|------|------------------|-------|
| Εφημερίδες | 36.62 | 4.66 | 31.76 | 0.11 | 0.11 | 0.19 | 25.00 | 1.55 |
| Βιβλία Περιοδικά | 32.93 | 4.64 | 32.85 | 0.11 | 0.13 | 0.21 | 16.00 | 13.13 |
| Υπόλοιπα χαρτιά | 32.41 | 4.51 | 29.91 | 0.31 | 0.61 | 0.19 | 23.00 | 9.06 |
| Πλαστικά | 56.43 | 7.79 | 8.05 | 0.85 | 3.00 | 0.29 | 15.00 | 8.59 |
| Ελαστικά, Δέρματα | 43.09 | 5.37 | 11.57 | 1.34 | 4.97 | 1.17 | 10.00 | 22.49 |
| Ξύλο | 41.20 | 5.03 | 34.55 | 0.24 | 0.09 | 0.07 | 16.00 | 2.82 |
| Υφάσματα | 37.23 | 5.02 | 27.11 | 3.11 | 0.27 | 0.28 | 25.00 | 1.98 |
| Υπολείμματα κήπων | 23.29 | 2.93 | 17.54 | 0.89 | 0.13 | 0.15 | 45.00 | 10.07 |
| Υπολείμματα κουζίνας | 17.93 | 2.55 | 12.85 | 1.13 | 0.38 | 0.06 | 60.00 | 5.10 |
| Μέταλλα | 4.31 | 0.60 | 3.94 | 0.50 | 0.07 | 0.01 | 5.00 | 85.97 |
| Γυαλί, Κεραμικά | 0.50 | 0.07 | 0.35 | 0.03 | 0.01 | 0.00 | 2.00 | 97.04 |

Πηγή: [1]

Τα πλαστικά αποτελούν τη βασική πηγή για το χλώριο, το κάδμιο, θείο, μόλυβδο, φθόριο και υδράργυρο, τα οποία βρίσκονται στους σταθεροποιητές και τα πιγμέντα.

Το κάδμιο, όταν χρησιμοποιείται ως μέθοδος διάθεσης των απορριμμάτων η υγειονομική ταφή, δεν δημιουργεί μεγάλο πρόβλημα στα στραγγίσματα, σε αντίθεση με την καύση όπου π.χ. τα πιγμένα διασπώνται σε θερμοκρασία 600°C.

Στην κατηγορία των ζυμώσιμων (λαχανικά, φρούτα, τροφές) υπάρχουν κυρίως τα βαρέα μέταλλα Cu, Pb, Zn, Cd, Hg.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί όταν αναμειγνύονται τα οικιακά, τα κλαδιά και τα φύλλα που προέρχονται από κήπους. Οι μεγαλύτερες ποσότητες Zn (25 %), F

(30 %), και S (19 %) βρίσκονται σε απορρίμματα αυτής της κατηγορίας. Ο βαθμός εκπομπής των επικίνδυνων ουσιών εξαρτάται από τις συνθήκες καύσης και την κινητικότητα των αερίων. Συγκρίνοντας τις επικίνδυνες ουσίες που περιέχονται στα ελληνικά απορρίμματα με τα απορρίμματα άλλων χωρών, στα ελληνικά απορρίμματα παρουσιάζονται χαμηλές τιμές του Pb, Zn και Cu σε αντίθεση με τις υψηλές τιμές στο Cd.

Πίνακας 1.2: Περιεκτικότητα σε μέταλλα των διαφόρων συστατικών των απορριμμάτων

| Υλικό | Cd | Cu | Fe | Hg | Mn | Na | Pb | Zn |
|----------|----|-----|--------|-----|-----|-------|-----|-------|
| Χαρτί | 2 | 100 | 2 000 | 0.1 | 75 | 1 550 | 125 | 375 |
| Πλαστικά | 14 | 525 | 3 875 | 0.4 | 100 | 1 475 | 800 | 975 |
| Ζυμώσιμα | 4 | 575 | 7 025 | 2 | 300 | 3 575 | 900 | 750 |
| Σκόνες | 3 | 27 | 12 050 | 0.3 | 625 | 2 500 | 550 | 1 125 |

Πηγή: [2]

1.4 Θερμογόνος δύναμη των απορριμμάτων

Η καύση και γενικότερα η ενεργειακή αξιοποίηση των απορριμμάτων, συνδέεται με το ποσό της θερμότητας που μπορεί να εκλυθεί κατά την καύση τους. Το ποσό της θερμότητας που εκλύεται κατά την καύση της μονάδας μάζας ενός υλικού εκφράζεται ως η θερμογόνος δύναμη του υλικού αυτού. Ανάλογα με τη φυσική κατάσταση των υδρατμών που παράγονται κατά την καύση, η θερμογόνος δύναμη αναφέρεται ως ανώτερη (οι υδρατμοί συμπυκνώνονται σε υγρό) και σε κατώτερη (οι υδρατμοί παραμένουν στην αέρια φάση).

Η θερμογόνος δύναμη ενός υλικού εξαρτάται από την περιεκτικότητά του στα βασικά καύσιμα στοιχεία, που είναι ο άνθρακας και το υδρογόνο και σε μικρότερο ποσοστό το θείο.

Πίνακας 1.3: Θερμογόνος δύναμη και ενεργειακό περιεχόμενο των ελληνικών οικιακών απορριμμάτων

| Υλικό | % κ.β. | Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (kcal/kg) | Ενέργεια(kcal/100kg απορριμμάτων) | Συμμετοχή στην ενέργεια (%) |
|----------|--------|--|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Χαρτί | 20.0 | 3 960 | 79 300 | 32.3 |
| Πλαστικά | 8.5 | 7 700 | 65 450 | 26.7 |
| Ζυμώσιμα | 49.0 | 1 100 | 53 900 | 22.0 |
| Γυαλί | 4.5 | 33 | 748 | 0 |
| Μέταλλα | 4.5 | 165 | 742 | 0 |
| Δ-Ξ-Λ-Υ | 3.0 | 4 400 | 13 200 | 5.4 |
| Αδρανή | 5.0 | 30 | 150 | 0 |
| Λοιπά | 5.5 | 5 770 | 31 735 | 12.9 |

Πηγή: [2]

Τα απορρίμματα καίγονται όταν η περιεκτικότητά τους σε νερό δεν ξεπερνά το 50%, η περιεκτικότητα σε τέφρα το 60% και η καύσιμη ύλη να είναι τουλάχιστον 25%, δηλαδή όταν η κατώτερη θερμογόνος δύναμή τους είναι 3 350 kJ/kg.

Ο υπολογισμός της θερμογόνου δύναμης απορριμμάτων μπορεί να γίνει με τους ακόλουθους τρόπους:

- Βάσει της σύστασης των απορριμμάτων:

Με δεδομένα τη σύσταση των απορριμμάτων ως προς επιμέρους κλάσματα, τα ποσοστά υγρασίας κάθε κλάσματος και τη θερμογόνο δύναμη κάθε κλάσματος είναι δυνατή η εκτίμηση της θερμογόνου δύναμης ανά μονάδα μάζας απορριμμάτων.

- Βάσει ανάλυσης της περιεκτικότητας των απορριμμάτων ή της ιλύος σε C, H, O, S.

Με δεδομένη την ποσοστιαία συμμετοχή των ως άνω στοιχείων στα απορρίμματα (π.χ. Πίνακας 1.2) είναι δυνατή η εκτίμηση της θερμογόνου της δύναμης με εφαρμογή του τύπου Du Long.

$$A\Theta\Delta = 80.8 \cdot C + 344(H - \frac{1}{8}O) + 25 \cdot S$$

Όπου: AΘΔ: η ανώτερη θερμογόνος δύναμη (kcal/kg),

C: η περιεκτικότητα (% κ.β.) σε άνθρακα,

H: η περιεκτικότητα (% κ.β.) σε υδρογόνο,

O: η περιεκτικότητα (% κ.β.) σε οξυγόνο,

S: η περιεκτικότητα (% κ.β.) σε θείο.

Η κατώτερη θερμογόνος δύναμη υπολογίζεται αφαιρώντας από την AΘΔ τη λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης των υδρατμών:

$$K\Theta\Delta = A\Theta\Delta - 580 \cdot (H + W)$$

Όπου: KΘΔ: η κατώτερη θερμογόνος δύναμη (kcal/kg)

H: η περιεκτικότητα (% κ.β.) σε υδρογόνο,

W: η περιεκτικότητα (% κ.β.) σε υγρασία.

- Βάσει άμεσων πειραματικών μετρήσεων της θερμογόνου δύναμης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΚΑΥΣΗ

2.1 Γενικά

Η καύση - αποτέφρωση χρησιμοποιείται ως μέθοδος επεξεργασίας για ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα αποβλήτων. Η ίδια η αποτέφρωση συνήθως αποτελεί ένα μόνο μέρος του πολύπλοκου συστήματος επεξεργασίας των αποβλήτων το οποίο συνολικά εξασφαλίζει την πλήρη διαχείριση των παραγόμενων αποβλήτων.

Ο τομέας της καύσης έχει υποστεί ταχεία τεχνολογική εξέλιξη κατά τα τελευταία 10 με 15 χρόνια. Πολλές από τις αλλαγές συντελέστηκαν λόγω της θέσπισης αυστηρότερης νομοθεσίας ειδικά για τη βιομηχανία με αποτέλεσμα τη μείωση ιδίως των ατμοσφαιρικών εκπομπών στον αέρα από τις επί μέρους εγκαταστάσεις. Η εξέλιξη των χρησιμοποιούμενων διαδικασιών συνεχίζεται και ο τομέας πλέον αναπτύσσει τεχνικές που περιορίζουν τις δαπάνες ενώ διατηρούν ή βελτιώνουν περαιτέρω τις περιβαλλοντικές επιδόσεις.

2.2 Καύση

Καύση είναι η διαδικασία κατά την οποία επιτυγχάνεται οξείδωση των απορριμμάτων σε υψηλή θερμοκρασία παρουσία οξυγόνου. Κατά τη διαδικασία αυτή τα απορρίμματα αποσυντίθενται θερμικά παρουσία περίσσειας αέρα.

Τη διαδικασία της θερμικής επεξεργασίας των απορριμμάτων επηρεάζουν οι ακόλουθες παράμετροι:

- η ομοιογένεια,
- το μέγεθος των κόκκων ή τεμαχίων καθώς και η κατανομή τους,
- η ειδική επιφάνειά τους,
- η θερμική τους αγωγιμότητα,
- η θερμοκρασία ανάφλεξης,
- η δυνατότητα αποθήκευσης,
- το ειδικό βάρος,
- η θερμογόνος δύναμη της καύσιμης ύλης,
- η ποσοτική σύνθεση της καύσιμης ύλης σε τέφρα και νερό,
- η περιεκτικότητα σε πτητικά,

- η περιεκτικότητα σε επικίνδυνες ουσίες και
- το σημείο τήξης της τέφρας.

Η ειδική επιφάνεια και η αγωγιμότητα επηρεάζουν την ταχύτητα της θερμικής διαδικασίας. Η επίδραση αυτών των παραμέτρων είναι δύσκολο να προσδιορισθεί, λόγω της ανομοιογένειας του υλικού.

Η θερμοκρασία ανάφλεξης επηρεάζει την ικανότητα αντίδρασης και αυξάνεται από την περιεκτικότητα σε πτητικά. Η θερμοκρασία ανάφλεξης είναι περίπου 400°C. Η πυκνότητα των απορριμμάτων εξαρτάται από την υγρασία τους και κυμαίνεται στην περιοχή 150 - 350 kg/m³.

Η περιεκτικότητα σε τέφρα των οικιακών απορριμμάτων κυμαίνεται στην περιοχή 26 – 33 % κ.β. Η υγρασία των απορριμμάτων είναι 25 - 50 % κ.β. Με βάση τα στοιχεία του Πίνακα 1.1, η θερμογόνο δύναμη ξεπερνά τις 2400 kcal/kg.^[2]

2.3 Βασικά Χαρακτηριστικά της Καύσης Απορριμμάτων

Τα βασικά χαρακτηριστικά της καύσης είναι :

- η φλόγα (μέτωπο, ταχύτητα, θερμοκρασία, σταθερότητα),
- θερμοκρασία φλογοθαλάμου,
- έλεγχος φλόγας,
- δίνη αερίων στον φλογοθάλαμο,
- χρόνος παραμονής της καύσιμης ύλης και των αερίων που παράγονται.

Η φλόγα είναι η ζώνη που λαμβάνουν χώρα οι αντιδράσεις της καύσης και παράγεται ορατή ακτινοβολία. Το μέτωπο της φλόγας ορίζεται ως η περιοχή μεταξύ του μίγματος των απορριμμάτων - αέρα και των προϊόντων της καύσης. Η φλόγα δεν προέρχεται απ' ευθείας από τα απορρίμματα αλλά από την παραγόμενη από αυτά αέρια φάση μετά την ανάμιξη με τον απαιτούμενο αέρα καύσης. Όλες οι αντιδράσεις στην καύση είναι εξώθερμες και σε μια πλήρη καύση, από τους υδρογονάνθρακες σχηματίζεται διοξείδιο του άνθρακα, αιθάλη και ελεύθερες ρίζες. Η πραγματική θερμοκρασία της φλόγας διαφέρει από την θεωρητική, γιατί υπάρχουν απώλειες. Το σύνολο των απωλειών κατά την καύση κυμαίνεται από 7 - 32% και αφορά: 6 - 20% τα καυσαέρια, 0.5 - 3.5% τα άκαυστα υλικά και 0 - 3% τις απώλειες θερμότητας από τα άκαυστα αέρια καύσιμα.

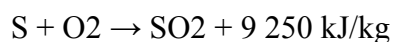
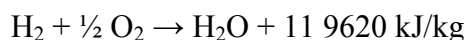
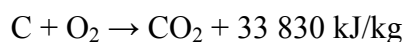
Η θερμοκρασία του φλογοθαλάμου εξαρτάται από την θερμογόνο δύναμη των απορριμμάτων, τον σχεδιασμό του φλογοθαλάμου, την παροχή του αέρα, και τον έλεγχο της καύσης. Έλεγχος της θερμοκρασίας σημαίνει έλεγχος του μίγματος αέρα – καύσιμης ύλης και της μεταφοράς θερμότητας.

Η δίνη εκφράζει τη σχέση της καύσιμης ύλης και του αέρα για καύση στο φλογοθάλαμο.

Όλες οι μονάδες καύσης χρησιμοποιούν για την καταστροφή του κλάσματος το οποίο καίγεται στα απορρίμματα, αέρα και θερμότητα. Για τον λόγο αυτό οι υπολογισμοί για την καύση είναι βασικά οι ίδιοι για κάθε σύστημα.^[2]

Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα είναι οι εξής:

- Πλήρης καύση:



- Μη πλήρης καύση:



2.3.1 Μηχανισμός καύσης

Η καύση ακολουθεί τέσσερις φάσεις:

- ξήρανση του υλικού σε θερμοκρασίες λίγο επάνω από 100°C,
- εξαερίωση κατά την οποία απομακρύνεται το πτητικό κλάσμα σε θερμοκρασία αερίου 250°C,
- έναυση όπου ο άνθρακας μετατρέπεται σε αέρια προϊόντα σε θερμοκρασία 500-600°C,
- αποτέφρωση όπου σε θερμοκρασία 800-1100°C τα αέρια που προήλθαν από τις προηγούμενες φάσεις οξειδώνονται πλήρως.

Ωστόσο πριν από την καύση πρέπει να προηγηθούν ορισμένες προεπεξεργασίες όπως:

- Ομογενοποίηση των απορριμμάτων. Η διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη και πραγματοποιείται μέσα στο φούρνο, μέσω κινητών προωθούμενων εσχάρων ή μέσω θραύσης των απορριμμάτων.

- Ενδεχομένη διαλογή. Αφαίρεση του σιδήρου μέσω μαγνητών, καθώς και άλλων αξιόλογων υλικών.
- Λιπασματοποίηση. Μπορεί να γίνει συνδυασμός μιας εγκατάστασης λιπασματοποίησης και ενός αποτεφρωτήρα.

Η καύση μπορεί να ακολουθηθεί από μεταγενέστερες επεξεργασίες όπως:

- Εξουδετέρωση μέσω καύσης, ορισμένων πτητικών οργανικών ουσιών πριν την έξοδό τους στην ατμόσφαιρα. Αυτή γίνεται σε ένα δεύτερο θάλαμο στο επάνω μέρος του φούρνου εξοπλισμένου με καυστήρα, μετά από έγχυση αέρα,
- Ψύξη με νερό των πυρακτωμένων σταχτών που βγαίνουν από το φούρνο, που απαιτεί ακολούθως καθαρισμό του χρησιμοποιηθέντος νερού (καθίζηση),
- Αποκονίωση και καθαρισμός των αερίων της καύσης,
- Ανάκτηση της θερμότητας, για την παραγωγή θερμού νερού ή ατμού.

Η ξήρανση των απορριμμάτων επιτυγχάνεται με την έκθεσή τους σε θερμοκρασία 100 °C περίπου. Η απαιτούμενη για την ξήρανση θερμότητα εξαρτάται από τη σύνθεση των απορριμμάτων και φυσικά από την περιεκτικότητα σε υγρασία.

Η θερμική διάσπαση των οργανικών ενώσεων επιτυγχάνεται στους 250 – 900 °C. Κατά την θερμική διάσπαση απομακρύνονται τα πτητικά υλικά. Η εξαερίωση περιλαμβάνει την μετατροπή των ανθρακούχων υλικών σε αέριο καύσιμο υλικό κάτω από υψηλές θερμοκρασίες. Η θερμοκρασία σε αυτή την ζώνη είναι 800 – 1150 °C και σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να ξεπεράσει τους 1150 °C. Όταν γίνεται υπέρβαση της θερμοκρασίας αυτής δημιουργείται πρόβλημα από την τήξη της τέφρας και το κόλλημα των εσχάρων. Η κύρια καύση περιλαμβάνει την πλήρη οξειδωση των αποβλήτων σε νερό, διοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του θείου και του αζώτου. Μια βασική παράμετρος στην αποτέφρωση, όπως προαναφέρθηκε, είναι η θερμοκρασία ανάφλεξης που για τα απορρίμματα συνήθως κυμαίνεται γύρω στους 400°C.



Εικόνα 2.1: Μονάδα αποτέφρωσης

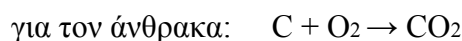
Προκειμένου να επιτευχθεί πλήρης καύση των στερεών αποβλήτων πρέπει να πληρούνται οι ακόλουθες προϋποθέσεις :

- αρκετό καύσιμο υλικό και οξειδωτικό μέσο (O_2) στην εστία καύσης,
- εφικτή (από τα συγκεκριμένα κάθε φορά μέσα) θερμοκρασία ανάφλεξης,
- σωστή αναλογία μίγματος (καύσιμης ύλης – οξυγόνου),
- συνεχής απομάκρυνση των αερίων τα οποία παράγονται κατά την καύση,
- συνεχής απομάκρυνση των υπολειμμάτων της καύσης (άκαυστα υλικά),
- διατήρηση κατάλληλης θερμοκρασίας στον κλίβανο,
- τυρβώδης ροή των αερίων,
- επαρκής χρόνος παραμονής των αποβλήτων στην περιοχή καύσης,
- δημιουργία τύρβης και ανακίνηση των απορριμμάτων.

2.3.2 Εκτίμηση απαιτούμενων ποσοτήτων αέρα

Στοιχειομετρική καύση

Οι βασικές αντιδράσεις όπως προαναφέρθηκαν κατά την στοιχειομετρική καύση του υδρογόνου του άνθρακα και του θείου στο οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ είναι οι παρακάτω:



Από τις παραπάνω αντιδράσεις προκύπτει η απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου για κάθε στοιχείο (π.χ. $32/12 = 2.67 \text{ kg } O_2/\text{kg C}$).

Ο αέρας είναι ένα μίγμα αζώτου, οξυγόνου, αεριοποιημένου νερού, ηλίου, διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων. Η σύνθεση του αέρα διαφέρει από περιοχή σε περιοχή και χρονική περίοδο. Αν υποθεθεί ότι ο ξηρός αέρας περιέχει 23.15% οξυγόνο κατά βάρος, τότε η απαραίτητη ποσότητα αέρα για την οξείδωση 1 kg άνθρακα είναι ίση με 11.52 kg. Οι αντίστοιχες ποσότητες για το υδρογόνο και το θείο είναι 34.56 kg και 4.31 kg αντίστοιχα. Πρέπει να σημειωθεί ωστόσο ότι η ποσότητα υδρογόνου που υπεισέρχεται στον υπολογισμό πρέπει να ρυθμιστεί αφαιρώντας από το ολικό ποσοστό του υδρογόνου το 1/8 του ποσοστού του οξυγόνου, που είναι αρχικά παρόν στα απορρίμματα καθώς το οξυγόνο αυτό ενωμένο σε κατάλληλη αναλογία (1:8) με το υδρογόνο δημιουργεί H_2O .

Με βάση τα δεδομένα αυτά και με την ποσοστιαία αναλογία των επί μέρους στοιχείων (π.χ. Πίνακας 1.1) είναι δυνατή η εκτίμηση της απαιτούμενης ποσότητας αέρα για στοιχειομετρική καύση.

Ο απαιτούμενος αέρας καύσης χρησιμοποιείται:

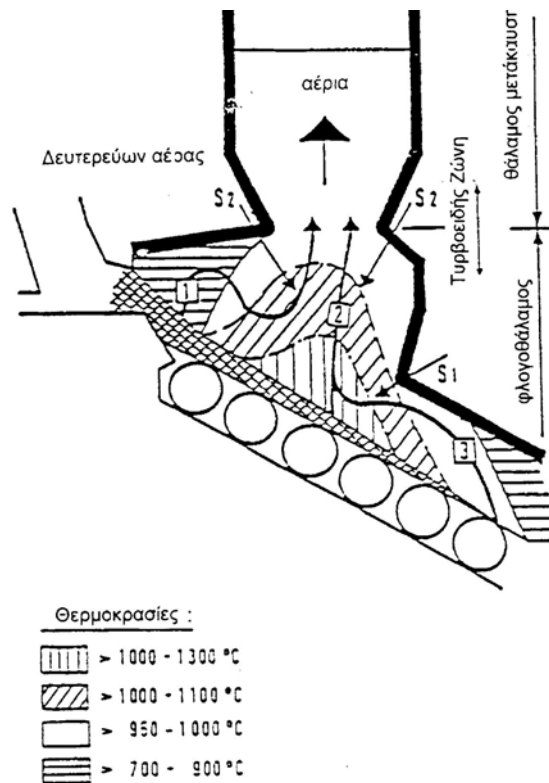
- ως μέσο οξείδωσης,
- ως μέσο ψύξης,
- ως μέσο για την παρεμπόδιση δημιουργίας ανεπιθύμητων μαζών και διακρίνεται σε:

Πρωτογενή αέρα: Ο πρωτογενής αέρας αντλείται από το χώρο υποδοχής. Η υποπίεση στο χώρο υποδοχής βοηθά στη μείωση των οσμών. Μερικές φορές ο αέρας αυτός πριν οδηγηθεί στις εσχάρες προθερμαίνεται σε απορρίμματα με χαμηλή θερμογόνο τιμή. Στην κλίνη καύσης οδηγείται με πίεση όπου αφενός μεν παρέχεται το απαιτούμενο για την καύση οξυγόνο, αφετέρου ψύχονται οι εσχάρες. Ο πρωτογενής αέρας, ο οποίος εισέρχεται από τις εσχάρες, αποτελεί το 40 – 60% του ολικού απαιτούμενου.

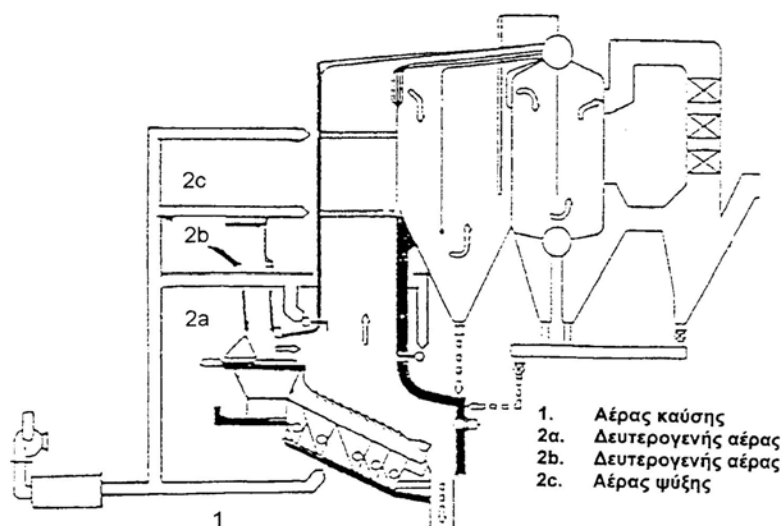
Δευτερογενή αέρα: Ο δευτερογενής αέρας μπορεί να αντληθεί, όπως και ο πρωτογενής από το χώρο υποδοχής ή από τον λέβητα ή από το χώρο απομάκρυνσης της σκωρίας. Εμφυσάται από ειδικό χώρο στο φλογοθάλαμο για την πλήρη καύση των αερίων.

Τριτογενή ή Τεταρτογενή αέρα: Ο τεταρτογενής αέρας αντλείται ξεχωριστά από το χώρο υποδοχής. Εμφυσάται στα τοιχώματα του φλογοθαλάμου και βοηθά στην πλήρη οξείδωση των καπναερίων στο φλογοθάλαμο. Η ψύξη των τοιχωμάτων γίνεται

για την αποφυγή συσσώρευσης της ιπτάμενης τέφρας, στα τοιχώματα (Σκορδίλης 1997).



Σχήμα 2.1 Πορεία των αερίων ρευμάτων και ανάπτυξη θερμοκρασιών σε συνεχούς ροής εστίες



Σχήμα 2.2: Ροή του αέρα στη μονάδα καύσης

Καύση με περίσσεια αέρα

Λόγω της μεταβλητής φύσης των στερεών απορριμμάτων είναι πρακτικά αδύνατη η καύση τους με στοιχειομετρικές ποσότητες αέρα. Στα εφαρμοζόμενα συστήματα καύσης, χρησιμοποιείται περίσσεια αέρα για να συμβάλει στην ανάμιξη, εξασφαλίζοντας έτσι την παροχή αέρα σε όλο τον όγκο των απορριμμάτων.

Ως περίσσεια αέρα νοείται ο λόγος του πραγματικά χρησιμοποιούμενου αέρα προς τον θεωρητικά αναγκαίο.

$$\lambda = \frac{L}{L_o}$$

όπου L = πραγματικά χρησιμοποιούμενος αέρας και

L_o = θεωρητικά αναγκαίος αέρας.

Συνήθως οι εστίες καύσης λειτουργούν με περίσσεια αέρα (λ) δηλαδή $\lambda = 1,5 - 2,0$

Η χρήση περίσσειας αέρα για καύση επηρεάζει (μειώνει) τη θερμοκρασία και τη σύσταση των προϊόντων καύσης (καυσαέρια).^[2]

2.3.3. Τα Αστικά Στερεά Απορρίμματα (ΑΣΑ) ως καύσιμη ύλη

Στα ΑΣΑ ανήκουν τα Στερεά Απορρίμματα (ΣΑ) που παράγονται από τις δραστηριότητες των νοικοκυριών (οικιακά ΣΑ), των εμπορικών δραστηριοτήτων (εμπορικά ΣΑ), του οδοκαθαρισμού καθώς και άλλα ΣΑ (ιδρύματα, επιχειρήσεις) τα οποία μπορούν από τη φύση τους ή τη σύνθεσή τους να εξομαλυνθούν με τα οικιακά ΣΑ.

Εξαιρέση αποτελούν τα απόβλητα εκσκαφών και οικοδομικών κατεδαφίσεων, όπως επίσης και τα κατεστραμμένα αυτοκίνητα. Τα ΑΣΑ αποτελούν ένα ιδιαιτέρως ανομοιογενές μίγμα υλικών. Η ποιοτική ανάλυση των ΑΣΑ αποσκοπεί στο να προσδιορίσει βασικές ποσοστιαίες κατηγορίες υλικών σε αυτά, προκειμένου να προσδιορισθεί πληροφορία απαραίτητη για την κατάρτιση σχεδίων διαχείρισης, επεξεργασίας και αξιοποίησής τους (ανακύκλωση, ανάκτηση ενέργειας, κ.λπ.). Η πιο δόκιμη κατηγοριοποίηση των ΑΣΑ, όπως προκύπτει από σειρά δειγματοληψιών και αναλύσεων, περιλαμβάνει τις εξής κατηγορίες (κλάσματα) υλικών:

- **Ζυμώσιμα:** Περιλαμβάνονται τα τροφικά υπολείμματα και τα απόβλητα κήπου.
- **Χαρτί:** Περιλαμβάνονται τα πάσης φύσεως χαρτιά και χαρτόνια που προέρχονται κυρίως από έντυπο υλικό και συσκευασίες προϊόντων.

• **Μέταλλα:** Περιλαμβάνεται το σύνολο των μεταλλικών υλικών που απαντώνται στα απορρίμματα. Συνηθίζεται ένας διαχωρισμός σε σιδηρούχα και μη σιδηρούχα μέταλλα (κυρίως λόγω της μαγνητικής ιδιότητας των πρώτων), με τα τελευταία να έχουν ως κυριότερο αντιπρόσωπο το αλουμίνιο. Σε ορισμένες αναλύσεις έχουν εξετασθεί ως ξεχωριστή υποκατηγορία και οι μπαταρίες λόγω της σχετικά υψηλότερης επικινδυνότητάς τους.

• **Γυαλί:** Η διαχείριση αποβλήτου γυαλιού στη χώρα μας πάσχει κυρίως από την έλλειψη υαλουργιών, κυρίως σε περιοχές μακριά από την Αττική. Απαντάται ο διαχωρισμός σε λευκό, καφέ και πράσινο γυαλί, όσον αφορά την ανακύκλωση, καθώς η παραγωγή καφέ και λευκού γυαλιού απαιτεί υαλότριμμα μόνο του ίδιου χρώματος.

• **Πλαστικό:** Περιλαμβάνεται το σύνολο των πολυμερών απορριμμάτων. Η κατηγορία αυτή γίνεται διαρκώς μεγαλύτερη κατά τα τελευταία χρόνια και στη χώρα μας ως συνέπεια της αλλαγής των καταναλωτικών συνηθειών (στροφή σε συσκευασμένα προϊόντα, κ.λ.π.). Χαρακτηριστικό της κατηγορίας αυτής είναι η έντονη ανομοιογένειά της, λόγω των πολλών χρησιμοποιούμενων πολυμερών (π.χ. PVC, PE, PP, PS, PET, ABS, κ.λ.π.).

• **Δέρμα – Ξύλο – Ύφασμα – Λάστιχο (ΔΞΥΛ):** Χαρακτηρίζονται ως λοιπά καύσιμα.

• **Αδρανή:** Εδώ περιλαμβάνονται χημικώς ανενεργά υλικά που καταλήγουν στα οικιακά απορρίμματα (π.χ. χώματα, πέτρες, κ.λ.π.).

2.3.4 Ενεργειακό ισοζύγιο και ανάκτηση ενέργειας

Η θερμοκρασία των καυσαερίων και του ατμού που παράγονται κατά την καύση μπορεί να υπολογισθεί εάν είναι γνωστή η θερμογόνο δύναμη τους και η ειδική θερμότητά τους. Η ειδική θερμότητα των καυσαερίων και του ατμού δίνεται από τις ακόλουθες σχέσεις:

- καυσαέρια (kcal/kg) $\rightarrow 0.245 + 0.24 (T-15.4) \times 10^{-4}$
- ατμός (kcal/kg) $\rightarrow 0.420 + (T-15.4) \times 10^{-4}$

όπου $T =$ η θερμοκρασία σε $^{\circ}\text{C}$.

Η θερμογόνο δύναμη των καυσαερίων και του ατμού προκύπτει ως το αλγεβρικό άθροισμα των κατωτέρω:

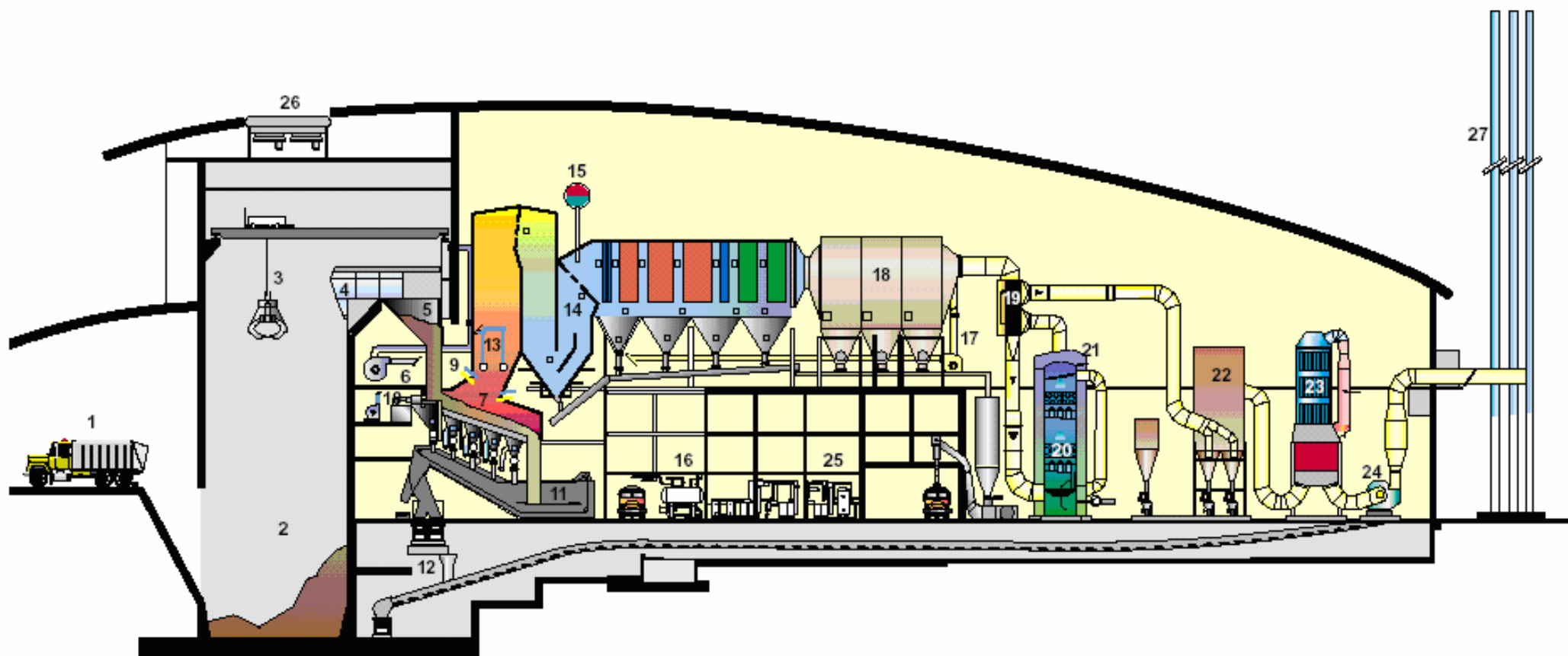
- (+) θερμογόνο δύναμη απορριμμάτων,
- (+) θερμογόνο δύναμη ενδεχόμενου πρόσθετου καυσίμου,

- (+) θερμογόνος δύναμη εισερχόμενου στοιχειομετρικού και πρόσθετου αέρα (αμελητέα εάν δεν γίνεται προθέρμανση),
- (-) θερμογόνος δύναμη ζεστής τέφρας,
- (-) θερμογόνος δύναμη άκαυστου άνθρακα της τέφρας,
- (-) απώλειες λόγω ακτινοβολίας (συνήθως 4-5% της εισερχερχόμενης θερμογόνου δύναμης),
- (-) ενέργεια που απαιτείται για την εξάτμιση της υγρασία (αρχικής και παραγόμενης λόγω υδρογόνου, περίπου 585 kcal/kg υγρασίας).

2.4 Περιγραφή της διαδικασίας της καύσης

Σε μια εγκατάσταση θερμικής επεξεργασίας απορριμμάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλά εναλλακτικά συστήματα στα επιμέρους τμήματά της. Μια τυπική μονάδα καύσης αποτελείται από τα εξής τμήματα:

- παραλαβής των απορριμμάτων (χώρος υποδοχής),
- προεπεξεργασίας,
- τροφοδοσίας,
- εστίας καύσης,
- λέβητα - αξιοποίησης θερμότητας,
- απομάκρυνσης υπολειμμάτων (σκωρίας),
- καθαρισμού αερίων – καπνοδόχου.



Σχήμα 2.3 Τομή μιας μονάδας καύσης

Μεταφορά και αποθήκευση απορριμμάτων

1. Χώρος εκφόρτωσης απορριμματοφόρων
2. Χώρος αποθήκευσης απορριμμάτων
3. Σύστημα γερανού
4. Αίθουσα ελέγχου γερανού

Αποτέφρωση, σκωρία, ανάκτηση ενέργειας

5. Χοάνη τροφοδοσίας
6. Πρωτογενής αέρας
7. Σύστημα εσχάρων
8. Παροχή πρωτογενούς αέρα
9. Δευτερογενής αέρας
10. Βαλβίδα φραγής
11. Υγρός αποσκορνωτής
12. Απομάκρυνση σκωρίας
13. Βοηθητικοί καυστήρες
14. Γεννήτρια ατμού
15. Έλεγχος ατμού
16. Συμπυκνωτής
17. Ανακυκλοφορία αέρα

Καθαρισμός αερίων και υπολείμματα καύσης

18. Ηλεκτροστατική καθίζηση
19. Εναλλάκτης θερμότητας
20. Συσκευή καθαρισμού όξινων αερίων
21. Συσκευή καθαρισμού ουδέτερων αερίων
22. Διαδικασία προσρόφησης
23. Καταλύτης SCR
24. Ανεμιστήρας άντλησης
25. Ηλεκτρικό κέντρο ελέγχου
26. Σύστημα ψύξης νερού
27. Καπνοδόχος

2.4.1 Έλεγχος της διαδικασίας της καύσης

Ο έλεγχος της καύσης εντοπίζεται στη θερμοκρασία, τον χρόνο και την δύνη. Ρυθμίζοντας αυτές τις τρεις βασικές παραμέτρους μπορεί κανείς να αυξήσει την απόδοση και να ελαττώσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι συνθήκες της καύσης εξαρτώνται από τον αέρα καύσης (ποσότητα, κατανομή και θερμοκρασία) και από την ελευθερούμενη θερμότητα στις εσχάρες και τον φλογοθάλαμο.

Καρδιά της όλης εγκατάστασης πάντα αποτελεί το control room όπου και γίνονται όλοι οι απαιτούμενοι έλεγχοι και ρυθμίσεις των διεργασιών καθ' όλη την διάρκεια λειτουργίας του αποτεφρωτή.



Εικόνα 2.2: Αίθουσα ελέγχου

2.4.2 Προσαγωγή και τάφρος

2.4.2.1 Προσαγωγή

Τα απορρίμματα είναι ένα εξαιρετικά ανομοιογενές υλικό και προσάγονται στην εγκατάσταση αποτέφρωσης σε μη συνεχή βάση, αλλά η καύση τους πρέπει να είναι συνεχής και το καιγόμενο υλικό κατά το δυνατόν ομοιογενές. Ως εκ τούτου είναι απαραίτητος ένας χώρος ενδιάμεσης αποθήκευσης και ομογενοποίησης μεταξύ της ασυνεχούς προσαγωγής και της συνεχούς καύσης.

Τα απορρίμματα προσάγονται στην εγκατάσταση αποτέφρωσης (μονάδα καύσης) είτε με απορριμματοφόρα (ΟΤΑ ή ιδιωτικών φορέων αποκομιδής), είτε μέσα σε κοντέινερς (οδικώς ή σιδηροδρομικώς) προερχόμενα από σταθμούς μεταφόρτωσης, όπως επίσης και οδικώς από μεμονωμένους μικροπαραγωγούς (βιοτεχνίες, πολίτες) και κατά κανόνα υπόκεινται σε δειγματοληψία για προσδιορισμό της σύστασής τους.

Οδική προσαγωγή

Κατάλληλα οχήματα είναι απορριμματοφόρα, κοντέινερς (ανοικτά ή κλειστά), όπως και οχήματα μικροπαραγωγών. Για την εξασφάλιση της ομαλής προσαγωγής ιδίως σε ώρες αιχμής απαιτούνται μία σειρά από κατασκευαστικά μέτρα:

- χώρος αναμονής οχημάτων πριν τις ζυγαριές,
- δύο ζυγαριές εισόδου, εφοδιασμένες με ηλεκτρονικό σύστημα καταγραφής.
- χώρος αναμονής οχημάτων στο δρόμο μεταξύ ζυγαριών και χώρου ξεφορτώματος,
- αίθουσα ξεφορτώματος, κατά κανόνα με ράμπα προσέγγισης και θερμαινόμενη το χειμώνα. Η είσοδος και η έξοδος οχημάτων ελέγχονται με σηματοδότες. Οι θύρες εισόδου και εξόδου είναι ενσωματωμένες σε μία προς αποφυγή δημιουργίας ρευμάτων αέρα. Το ύψος της αίθουσας πρέπει να είναι επαρκές ακόμη και για ξεφόρτωμα κοντέινερς (γύρω στα 9.5 m).
- ζυγαριά εξόδου όπως και δεύτερη έξοδος χωρίς ζυγαριά για οχήματα με γνωστό (αποθηκευμένο στο σύστημα καταγραφής) καθαρό βάρος.

Εκτός από τις διαδρομές εισόδου και εξόδου για τα απορριμματοφόρα, προβλέπονται και διαδρομές για πυροσβεστικά οχήματα, προμηθευτές ανταλλακτικών, προσωπικό και επισκέπτες.

Σιδηροδρομική προσαγωγή

Σχετικά με τη σιδηροδρομική μεταφορά των απορριμμάτων στη μονάδα καύσης, υπάρχουν γενικά δύο κύριες κατηγορίες κοντέινερς, τα ανοικτά και τα κλειστά (πιεστικά). Τα ανοικτά έχουν δυναμικότητα μέχρι και 8 tn, συνδέονται μέχρι και τρία σε ένα συρμό και μπορούν χωρίς τη βοήθεια γερανού να μεταφερθούν από φορτηγό σε αμαξοστοιχία και αντίθετα, ενώ η εκκένωσή τους γίνεται με ανατροπή (από φορτηγό) ή με γερανό (από αμαξοστοιχία). Τα κλειστά γεμίζουν με πρέσα (σταθμός μεταφόρτωσης), έχουν δυναμικότητα μέχρι και 20 tn, συνδέονται μέχρι και δύο σε ένα συρμό και μπορούν να μεταφερθούν μόνο με γερανό, ενώ για την εκκένωσή τους οδηγούνται στην άκρη της τάφρου σε ειδικά σημεία και εκφορτώνουν υδραυλικά.^[3]

2.4.2.2 Ζυγιστήριο

Η ζύγιση των απορριμμάτων στοχεύει στη μέτρηση της ποσότητας των απορριμμάτων και προσδιορίζει το κόστος της διάθεσης της. Συνήθως υπάρχουν μηχανές ζύγισης μέχρι 40 tn. Η ζύγιση μπορεί να γίνει μηχανικά ή ηλεκτρομηχανικά. Το ηλεκτρομαγνητικό σύστημα είναι πιο πρακτικό και ελαχιστοποιείται η καθυστέρηση τόσο κατά την είσοδο όσο και κατά την έξοδο του απορριμματοφόρου. Στην περίπτωση αυτόματης ζύγισης, κάθε απορριμματοφόρο είναι εφοδιασμένο με την δική του κάρτα η οποία έχει καταγεγραμμένα τα στοιχεία του απορριμματοφόρου η οποία εισάγεται από τον οδηγό. Για την περίπτωση βλάβης, πρέπει να προβλέπεται η δυνατότητα χειροκινήτου ζύγισης. ^{[2][4]}

2.4.2.3 Δειγματοληπτικός έλεγχος

Πριν από την καύση είναι απαραίτητος ο έλεγχος των απορριμμάτων για τους ακόλουθους λόγους :

- δεν επιτρέπεται να εισέρχονται στην τάφρο υλικά επικίνδυνα για τη λειτουργία της εγκατάστασης (π.χ. εκρηκτικά),
- πρέπει να αποκλείονται συγκεκριμένα υλικά που επιβαρύνουν τα συστήματα κατακράτησης ρύπων και να τυγχάνουν ειδικής επεξεργασίας ως ειδικά απορρίμματα.

Ένας καθολικός έλεγχος συνεπάγεται βέβαια υψηλό κόστος και στην πράξη υποκαθίσταται από δειγματοληπτικό έλεγχο, ο οποίος γίνεται ύστερα από ξεφόρτωμα είτε στο δάπεδο της αίθουσας είτε σε ειδική κυλιόμενη ταινία ελέγχου. ^{[2][3]}

2.4.2.4 Ομογενοποίηση και στοίβαγμα των απορριμμάτων

Τα απορρίμματα που προορίζονται για καύση καλύπτουν ένα ιδιαίτερα μεγάλο εύρος υλικών και συστατικών, κάτι που δημιουργεί σοβαρές περιπλοκές στις φάσεις της καύσης και του καθαρισμού καυσαερίων. Ο σχεδιασμός και η διαστασιολόγηση του απαιτούμενου εξοπλισμού δε μπορεί να γίνει για μέγιστες αλλά για μέσες τιμές και ως εκ τούτου πρέπει να αποφευχθούν αιχμές και απότομες διακυμάνσεις των περιεκτικοτήτων σε επικίνδυνες ουσίες και της θερμογόνου δύναμης. Επίσης, πρέπει να περιορισθεί το μέγεθος των καιγόμενων απορριμμάτων με γνώμονα το χρόνο παραμονής τους στην εσχάρα καύσης (χρόνος αποτέφρωσης). Οι παραπάνω στόχοι επιτυγχάνονται με θρυμματισμό και καλή ανάμιξη. ^{[2][3]}

2.4.2.5 Θρυμματισμός ογκωδών απορριμμάτων

Τα ογκώδη απορρίμματα ανέκαθεν θρυμματίζονταν πριν καούν. Οι διαρκώς αυξανόμενες απαιτήσεις για την ποιότητα της καύσης και τον καθαρισμό των καυσαερίων έχουν τελευταία επιβάλλει και το θρυμματισμό και άλλων απορριμμάτων που ανήκουν στις κατηγορίες οικιακά και εμπορικά.

Για τον τεμαχισμό των ογκωδών έχουν εφαρμοστεί διάφορες τεχνικές που χρησιμοποιούνται μηχανήματα κατάτμησης όπως σφυρόμυλοι, σφαιρόμυλοι, κυλινδρόμυλοι, λειοτεμαχιστές, υδροπολτοποιητές, μύλοι πρόσκρουσης, ή μύλοι τύπου σιαγόνων ή τύπου ψαλίδι, κ.α.

Λόγω της παρουσίας μετάλλων, πετρών και άλλων σκληρών υλικών τα παραπάνω μηχανήματα υφίστανται σημαντικές φθορές και γι αυτό παρουσιάζουν λειτουργικά προβλήματα και ανάλογα υψηλά λειτουργικά κόστη.

Οι παράγοντες που πρέπει να εξετάζονται κατά την επιλογή μηχανημάτων κατάτμησης περιλαμβάνουν :

- ιδιότητες των προς κατάτμηση υλικών και χαρακτηριστικά των υλικών μετά την κατάτμηση,
- απαιτήσεις επιθυμητού μεγέθους συστατικών μετά τη κατάτμηση,
- μέθοδος τροφοδοσίας του μηχανήματος,
- τύπος λειτουργίας (συνεχής ή ασυνεχής),
- λειτουργικά χαρακτηριστικά μηχανήματος όπως ενεργειακές απαιτήσεις, απαιτήσεις συντήρησης, απλότητα λειτουργίας, αποδεδειγμένη απόδοση και ευστάθεια λειτουργίας, στάθμη διατηρούμενου θορύβου, απαιτήσεις για έλεγχο ατμοσφαιρικής και υδατικής ρύπανσης, κ.α.
- απαιτήσεις χώρου εγκατάστασης (απαιτούμενη έκταση, ύψος, περιβαλλοντικοί περιορισμοί, κλπ),
- απαιτήσεις για αποθήκευση υλικών μετά την κατάτμηση.^[5]

2.4.2.6 Τάφρος απορριμμάτων

Οι τάφροι απορριμμάτων διαστασιολογούνται για ενδιάμεση αποθήκευση ποσότητας 3-5 ημερών. Παράδειγμα: Ετήσια παραγωγή 200000 τόνοι συνεπάγεται 3.850 tn/w ή 770 tn/d (μέση τιμή πενθημέρου). Για χωρητικότητα τάφρου ικανή για αποθήκευση ποσότητας 4 ημερών, για μία πυκνότητα απορριμμάτων μετά την εκφόρτωσή τους στην τάφρο 300 kg/m³ και με μία διακύμανση +/- 10% στην προσαγόμενη ποσότητα απορριμμάτων προκύπτει αναγκαίος όγκος τάφρου:

$770000 \cdot 1.1 \cdot 4/300 = 11300 \text{ m}^3$ (όγκος κύβου ακμής 22.4 m^3). Η τάφρος χωρίζεται στις ακόλουθες επιμέρους ζώνες:

- ζώνη ξεφορτώματος,
- ζώνη ανάμιξης,
- ζώνη στοιβάγματος (κλίση του σωρού: $80 - 85^\circ$).

Υπάρχουν δύο κύριες κατασκευαστικές παραλλαγές της τάφρου, η τάφρος βάθους και η επιφανειακή. Οι σημερινές υψηλές απαιτήσεις σε μία μονάδα καύσης απορριμμάτων μπορούν να εκπληρωθούν καλύτερα με την επιφανειακή, αλλά στην πράξη να προτιμάται κάποια μέση λύση μεταξύ των δύο.

Η τάφρος βάθους είναι στενή και ψηλή. Η διαφορά ύψους μεταξύ του επιπέδου εκφόρτωσης και του δαπέδου της τάφρου είναι περίπου 10 m. Πλεονεκτήματά της είναι οι μικρές διαδρομές του γερανού και οι μικρές απαιτήσεις σε επιφάνεια. Μειονεκτήματα αποτελούν η δαπανηρή θεμελίωση (ασφάλιση έναντι ανώσεως στην περίπτωση που η κατασκευή φθάσει στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα), ο κίνδυνος αυτανάφλεξης (σε περιπτώσεις μεγάλου στοιβάγματος) και ο περιορισμένος διατιθέμενος χώρος (πλάτος τάφρου) για την ανάμιξη των απορριμμάτων.

Στην επιφανειακή τάφρο, η υψομετρική διαφορά μεταξύ επιπέδου εκφόρτωσης και δαπέδου τάφρου είναι 4-5 m. Το πλάτος της τίθεται κοντά στη μέγιστη διαδρομή του γερανού (30 m μείον το πλάτος της χοάνης τροφοδοσίας). Πλεονεκτήματα της παραλλαγής αυτής αποτελούν η φθηνή θεμελίωση και ο επαρκής διαθέσιμος χώρος για ανάμιξη των απορριμμάτων. Στα μειονεκτήματα κατατάσσονται η μεγάλη διαδρομή του γερανού και οι υψηλές απαιτήσεις σε επιφάνεια.

Η ζώνη εκφόρτωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί εν μέρει και ως ζώνη στοιβάγματος (με κλειστές τις θύρες των θέσεων εκφόρτωσης), αλλά πρέπει πάντοτε να υπάρχουν διαθέσιμες θέσεις εκφόρτωσης (τουλάχιστον 4). Για την ανάμιξη των απορριμμάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν και τμήματα των ζωνών εκφόρτωσης και στοιβάγματος. Από τη ζώνη ανάμιξης τα απορρίμματα μεταφέρονται με το γερανό είτε στη ζώνη στοιβάγματος είτε απευθείας στην εστία καύσης.^[2]

Πυροπροστασία στο χώρο της τάφρου

Η τάφρος έχει αποδειχθεί το τμήμα εκείνο της εγκατάστασης καύσης με την υψηλότερη επικινδυνότητα έναντι πυρκαγιών. Ιδιαίτερα προβληματικός έχει αποδειχθεί ο έγκαιρος εντοπισμός πυρκαγιών, καθώς συνήθη φαινόμενα κατά τη

λειτουργία αποτελούν τα σύννεφα σκόνης, τα οποία καθιστούν δύσκολο τον άμεσο εντοπισμό καπνού. Μέχρι στιγμής όλα τα αυτόματα συστήματα πυροπροστασίας έχουν αποδειχθεί αναξιόπιστα. Ιδιαίτερα αποτελεσματικό μέτρο πυρόσβεσης αποτελεί η ανύψωση του καιγόμενου πυρήνα με το γερανό, ο οποίος μπορεί κατόπιν να οδηγηθεί απευθείας στην εστία καύσης (αφού ενδεχομένως εκκενωθεί προηγουμένως το φρεάτιο τροφοδοσίας). Λόγω των παραπάνω είναι επιβεβλημένη η ιδιαίτερη προστασία του γερανού και της καμπίνας οδήγησης από τις επιπτώσεις μίας πυρκαγιάς. Δόκιμα μέτρα για το σκοπό αυτό είναι:

- προσαγωγή στην καμπίνα αέρα αναρροφούμενου από μία περιοχή ασφαλή από καπνό μέσω αγωγού προστατευμένου από φωτιά,
- προστασία των παραθύρων της καμπίνας από την ακτινοβολούμενη θερμότητα,
- τηλεχειρισμός του γερανού,
- εγκατάσταση του εξοπλισμού λειτουργίας και ρύθμισης του γερανού σε δωμάτιο ασφαλές από φωτιά,
- εγκατάσταση ψεκασμού για τα καλώδια επί της γερανογέφυρας.

Κατά το σχεδιασμό του καλύμματος της αίθουσας της τάφρου πρέπει να προβλεφθεί ένα άνοιγμα επιφάνειας γύρω στο 15% της συνολικής επιφάνειας του καλύμματος για την απαγωγή του καπνού και της θερμότητας σε περίπτωση πυρκαγιάς.

Γενικός κανόνας είναι ότι η εστία καύσης πρέπει να διατηρηθεί σε λειτουργία όσο το δυνατόν περισσότερο, καθώς ένα μεγάλο ποσοστό του καπνού αναρροφάται από την αίθουσα της τάφρου ως πρωτεύων αέρας καύσης.

2.4.3 Σύστημα τροφοδοσίας

Τα τρία βασικά χαρακτηριστικά των απορριμμάτων δηλαδή το ειδικό βάρος, η σύνθεση (στάχτη, νερό, καύσιμο κλάσμα) και η θερμογόνος τιμή συνεχώς μεταβάλλονται. Γι' αυτό παίζει πρωταρχικό ρόλο η καλή ανάμειξη των απορριμμάτων. Ως ένα βαθμό μπορεί να επιτευχθεί από το σύστημα τροφοδοσίας με σωστή προσαρμογή στο χρόνο λήψης, την ταχύτητα καθώς και τη δυνατότητα άρσης του μέσου τροφοδοσίας.^[2]

2.4.3.1 Γερανογέφυρα

Για την παραλαβή και την μεταφορά των απορριμμάτων από τον χώρο υποδοχής και την τροφοδοσία της χοάνης, καθώς και για τη διακίνηση και απομάκρυνση ογκωδών αντικειμένων, εγκαθίσταται στο κτίριο υποδοχής απορριμμάτων γερανογέφυρα, από την οποία αναρτάται αρπάγη.

Κατά κανόνα υπάρχουν δύο γερανογέφυρες, με την μία ως εφεδρική. Μία γερανογέφυρα θα πρέπει να είναι σε θέση να αντεπεξέλθει σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας. Η ισχύς προδιαγράφεται έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στο διπλάσιο της τροφοδοσίας της εσχάρας.

Τεχνική περιγραφή:

Η λειτουργία της γερανογέφυρας είναι αυτοματοποιημένη ώστε ο χειριστής να εκτελεί με τον ευχερέστερο τρόπο την παραλαβή και εκφόρτωση των απορριμμάτων προς τη χοάνη παραλαβής καθώς και την απομάκρυνση των ογκωδών αντικειμένων.

Η γερανογέφυρα είναι ηλεκτροκίνητη, με διπλό φορέα και με επικαθήμενο φορείο, έτσι ώστε να είναι δυνατή η κίνηση της και κατά μήκος και κατά πλάτος του κτιρίου. Επί της γερανογέφυρας φέρεται βαρούλκο για την ανέλκυση και καθέλκυση της αρπάγης.

Ο κύριος φορέας εδράζεται στα δύο άκρα του σε φορεία καθένα από τα οποία φέρει δύο τροχούς. Οι τροχοί κυλίνουν επί τροχών οι οποίες εδράζονται επί του κτιρίου. Ο ένας τροχός κάθε φορείου είναι κινητήριος ενώ ο άλλος είναι παρασυρόμενος (ελεύθερος).

Οι κινητήρες είναι ειδικά σχεδιασμένοι για γερανογέφυρες. Εξασφαλίζουν ασφαλή λειτουργία, ομαλή εκκίνηση και πέδηση και είναι κατάλληλοι για συχνή εναλλαγή φοράς κίνησης.

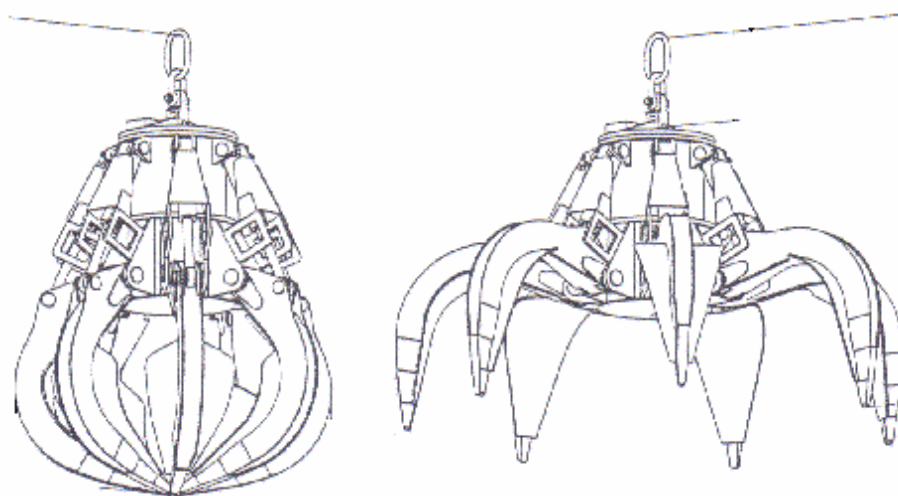
Η γερανογέφυρα καθορίζεται από την ποσότητα των απορριμμάτων που μπορεί να διαχειρισθεί ωριαία, λαμβανομένων υπόψη των κατωτέρω:

- ενός συντελεστού χρησιμοποίησης, μικρότερου της μονάδος 60-80 %, λόγω των αναπόφευκτων διακοπών κατά τον κύκλο λειτουργίας,
- την ανάγκη εξομάλυνσης της στάθμης των απορριμμάτων της τάφρου.^[4]

2.4.3.2 Αρπάγη

Από το βαρούλκο της γερανογέφυρας η οποία βρίσκεται εγκατεστημένη στον χώρο υποδοχής των απορριμμάτων, αναρτάται αρπάγη χωρητικότητας συνήθως 4 m³

η οποία κατά την λειτουργία παραλαμβάνει τα απορρίμματα και τροφοδοτεί την χοάνη.



Σχήμα 2.4: Σχέδιο αρπάγης

Τεχνική περιγραφή:

Η αρπάγη αναρτάται από το βαρούλκο της γερανογέφυρας και χρησιμοποιείται για τη μεταφόρτωση απορριμμάτων από τον υποδοχέα στη χοάνη καθώς και για τη μετακίνηση των ογκωδών απορριμμάτων. Είναι τύπου πολύποδα και διαθέτει βραχίονες με ανεξάρτητη μεταξύ τους υδραυλική κίνηση. Οι βραχίονες κλείνοντας έχουν τη δυνατότητα προσαρμογής ανάλογα με το σχήμα του μεταφερόμενου απορρίμματος, οπότε και αξιοποιείται πλήρως η χωρητικότητά τους.

Η αρπάγη αποτελείται από τον κορμό της όλης κατασκευής, τους κινούμενους βραχίονες, τα υδραυλικά έμβολα κίνησης των βραχιόνων και την υδραυλική μονάδα με τις απαραίτητες διατάξεις αυτοματισμού. Κατά την λειτουργία οι βραχίονες ανοίγουν και κλείνουν κινούμενοι από τα υδραυλικά έμβολα. Στην κλειστή θέση τα μέτωπα των βραχιόνων έρχονται σε επαφή μεταξύ τους σχηματίζοντας έτσι στο εσωτερικό τους έναν χώρο 4 m^3 . Επίσης στην κλειστή θέση οι πλευρές κάθε βραχίονα αφήνουν από τις πλευρές των παρακείμενων βραχιόνων ένα προκαθορισμένο διάκενο.

Ο κορμός της αρπάγης αποτελείται από μία συμπαγή κατασκευή από συγκολλημένα ελάσματα από χάλυβα. Στο εσωτερικό του κορμού αυτού είναι εγκατεστημένη η υδραυλική μονάδα. Ο κορμός φέρει εξωτερικά τους έξι κινούμενους βραχίονες και τα υδραυλικά έμβολα των βραχιόνων. Η κατασκευή έχει κατάλληλο σχήμα ώστε να προστατεύει από χτυπήματα τα σημεία στήριξης των εμβόλων και των

βραχιόνων, τα έμβολα και τις βίδες της κατασκευής. Ο κορμός της αρπάγης φέρει ενισχυμένη διάταξη από την οποία αναρτάται η κατασκευή από το βαρούλκο της γερανογέφυρας.



Εικόνα 2.3 Υποδοχέας και αρπάγη κατά την τροφοδοσία

Συνολικά όλο το σύστημα του γερανού επιτελεί τις παρακάτω λειτουργίες:

- η διαρκής κένωση των θέσεων εκφόρτωσης,
- η ανάμιξη των απορριμμάτων,
- το στοίβαγμα των απορριμμάτων,
- η τροφοδοσία της εστίας καύσης,
- η καταπολέμηση περιπτώσεων πυρκαγιάς.

Προβλεπόμενος βοηθητικός εξοπλισμός του γερανού περιλαμβάνει αυτοματισμούς οδήγησης και λήψης όπως και πρόβλεψη για ζύγισμα.

2.4.3.3 Αίθουσα ελέγχου γερανού

Η λειτουργία των γερανών επιβλέπεται από τον οδηγό σε μία εξωτερική καμπίνα, η οποία μπορεί να εγκατασταθεί σε διάφορα σημεία όπως στον τοίχο κατά μήκος της τάφρου (είτε απέναντι στις θέσεις εκφόρτωσης είτε απέναντι στις χοάνες τροφοδοσίας), σε πλευρικό τοίχο ή και στους 2 πλευρικούς τοίχους (1 για κάθε γερανογέφυρα).

Για καμία από τις παραπάνω θέσεις δεν είναι εύκολα προσπελάσιμες ταυτόχροτως όλες οι ζώνες (χοάνη, θέσεις εκφόρτωσης, ζώνη στοιβάγματος, ζώνη ανάμιξης) και για το σκοπό αυτό εγκαθίστανται κατά περίπτωση κάμερες επίβλεψης.

Η αίθουσα ελέγχου του συγκροτήματος περιέχει δύο θέσεις εργασίας για τους χειριστές των γερανογεφυρών. Η ανάβαση γίνεται με μεταλλική σκάλα. Στον

εξωτερικό τοίχο της αίθουσας ελέγχου εγκαθίσταται σκάλα, μέσω της οποίας είναι δυνατή η ανάβαση στη στέγη της αίθουσας ελέγχου και εν συνεχεία, μέσω δεύτερης, η ανάβαση μέχρι το επίπεδο των γερανογεφυρών, ώστε σε περίπτωση ανάγκης να είναι δυνατή η συντήρηση / επισκευή τους.

Ειδική μεταλλική προστατευτική κατασκευή-τζαμαρία: Τόσο προς τη πλευρά των υποδοχέων, όσο και προς τη πλευρά του χώρου εκφόρτωσης των απορριμμάτων, υπάρχουν υαλοστάσια, ώστε να εξασφαλίζεται ο πλήρης έλεγχος των διεργασιών που εκτελούνται εντός του κτιρίου. Για την προστασία του θαλάμου ελέγχου από τυχόν προσκρούσεις της αρπάγης, κατασκευάζεται ειδική προστατευτική μεταλλική κατασκευή.

Κλιματισμός: Θα προμηθευτεί και τοποθετηθεί μία συσκευή ψύξης-θέρμανσης, με αυτόνομο κλιματισμό διαιρούμενου τύπου (SPLIT). Επίσης, εγκαθίσταται σύστημα αερισμού.

Φωτισμός: Τοποθετούνται φωτιστικά φθορισμού, καθώς και οι απαραίτητοι ρευματοδότες.

Πίνακες διανομής: Οι ηλεκτρικοί πίνακες διανομής τοποθετούνται στο χώρο κάτω από την αίθουσα ελέγχου γερανού.



Εικόνα 2.4: Αίθουσα ελέγχου γερανού

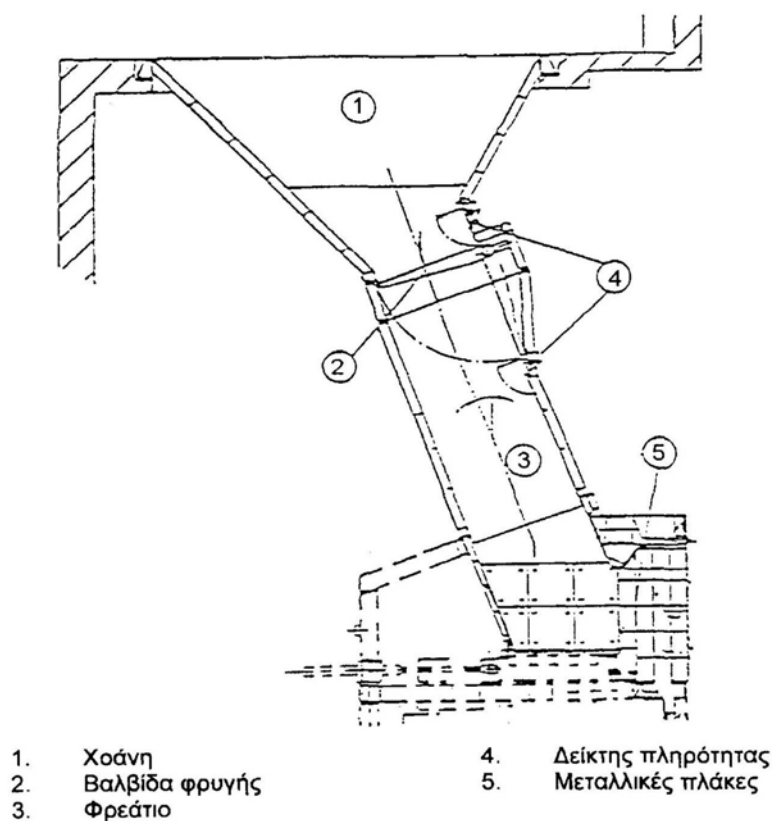
Στο σχεδιασμό της αίθουσας ελέγχου πρέπει να ληφθούν υπόψη και τα ακόλουθα στοιχεία :

- εγκατάσταση πλυσίματος (ή φουσίματος) για καθαρισμό των τζαμιών,
- εξασφαλισμένη οδός διαφυγής σε περίπτωση πυρκαγιάς.

2.4.4 Χοάνη Τροφοδοσίας

Η πιο σπουδαία προϋπόθεση της αυτοματοποίησης είναι η ισομερής τροφοδοσία. Η χοάνη μεσολαβεί ανάμεσα στον υποδοχέα και τον καυστήρα, είναι κάθετη με αρνητική κλίση. Η μεταφορά των απορριμμάτων από την χοάνη στην εστία επιτυγχάνεται μηχανικά ή υδραυλικά. Το υδραυλικό ιγδιόχειρο κινείται επί μιας οριζόντιας πλάκας μπρος και πίσω. Μ' αυτόν τον τρόπο τροφοδοτείται η εστία πάντα με την ίδια ποσότητα απορριμμάτων. Η ταχύτητα του ιγδιόχειρου μπορεί να ρυθμιστεί ανάλογα με τις ανάγκες.

Απαραίτητη προϋπόθεση για οποιοδήποτε σύστημα τροφοδοσίας είναι η καλή κατασκευή και η αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες. Η ψύξη του συστήματος τροφοδοσίας επιτυγχάνεται με ανοικτό ή κλειστό σύστημα. Στο ανοικτό σύστημα το νερό οδηγείται στο μπάνιο ψύξης των υπολειμμάτων. Αντίθετα στο κλειστό σύστημα, το οποίο λειτουργεί με ανώτατη πίεση 1 bar η ψύξη επιτυγχάνεται με αέρα ο οποίος ψύχεται σε εναλλάκτες. Η παροχή εξαρτάται από την ταχύτητα του ιγδιόχειρου.^[2]



Σχήμα 2.5: Χοάνη τροφοδοσίας

Πηγή: [19]

Φόρτιση του φούρνου

Το σύστημα φόρτισης του φούρνου, χοάνη-αυλάκι, πρέπει να πραγματοποιεί την τροφοδότηση του φούρνου χωρίς παραγέμισμα. Το αυλάκι καθόδου των

απορριμμάτων στον φούρνο, πρέπει να έχει τις κατάλληλες διαστάσεις, ώστε να μπορούν να περνούν τα μεγάλα αντικείμενα. Το βάθος του κυμαίνεται ανάλογα με το μέγεθος του φούρνου. Στην άκρη του αυλακιού υπάρχει μια ποσότητα νερού, για να προστατεύει από την άνοδο ξαφνικών φλογών. Στην χοάνη υπάρχουν συσκευές, που επισημαίνουν διάφορους κινδύνους, όπως η πολύ χαμηλή στάθμη απορριμμάτων.^[4]

2.4.5 Συμβατικές μέθοδοι

2.4.5.1 Γενικά

Οι τεχνολογίες θερμικής επεξεργασίας απορριμμάτων με ανάκτηση ενέργειας αναπτύχθηκαν κατά τις δεκαετίες του '70 και του '80 ως εναλλακτικές λύσεις της χρήσης συμβατικών καυσίμων, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η διάκριση των μεθόδων θερμικής επεξεργασίας γίνεται βασικά με το είδος της εστίας καύσης (κλιβάνου) και τον τύπο του θαλάμου καύσης.

Κλίβανος ή εστία καύσης είναι ο χώρος μέσα στον οποίο πραγματοποιείται η καύση των απορριμμάτων. Η διαδικασία της καύσης στον κλίβανο γίνεται σε δύο στάδια, την πρωτογενή και την δευτερογενή καύση. Η πρωτογενής καύση αφορά τις φυσικές και χημικές αλλαγές: την ξήρανση, την πτητικότητα και την ανάφλεξη. Η δευτερογενής καύση αφορά την οξείδωση των αερίων και υλικών τα οποία προέρχονται από την πρωτογενή καύση.

Τα κύρια μέρη του κλιβάνου είναι ο φλογοθάλαμος, ο θάλαμος δευτερογενούς καύσης και οι εσχάρες. Τα τμήματα αυτά σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται ικανοποιητικός χρόνος παραμονής και αντίδρασης των απαερίων σε υψηλές θερμοκρασίες.

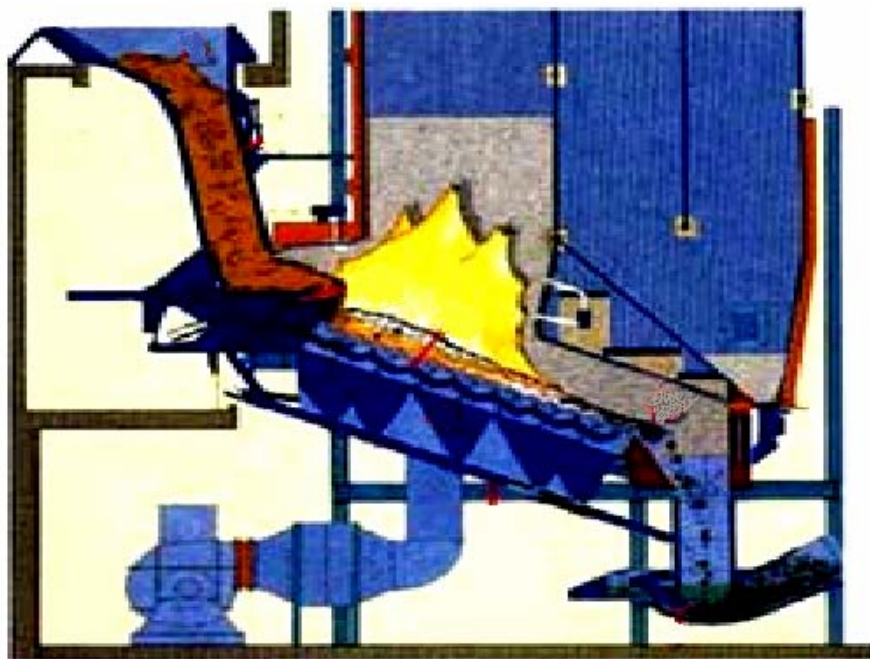
Ανάλογα τον τύπο της εστίας καύσης (κλιβάνο), διακρίνονται οι παρακάτω τεχνολογίες θερμικής επεξεργασίας:

- εστίας τύπου εσχάρας,
- εστίας τύπου ρευστοποιημένης κλίνης,
- περιστρεφόμενου κλιβάνου.

Ανάλογα τον τύπο του θαλάμου καύσης, η θερμική επεξεργασία διακρίνεται σε:

- μαζικής καύσης,
- τμηματικής καύσης,
- καύσιμου από σκουπίδια [ΚαΣ, (RDF, Refuse Derived Fuel)].

Οι μονάδες μαζικής καύσης, τμηματικής καύσης και RDF, χαρακτηρίζονται ως συμβατικές λόγω της μακρόχρονης εφαρμογής τους σε οικονομικά ανεπτυγμένες χώρες με πλούσια βιομηχανική παράδοση (π.χ. Ιαπωνία, ΗΠΑ, Γερμανία, Αγγλία, Γαλλία, Ισπανία, Δανία, Σουηδία κ.λπ.).



Σχήμα 2.6: Σχηματική παράσταση εστίας καύσης

Ο κλίβανος οριοθετείται από τις εσχάρες, στο κάτω μέρος του, τα τοιχώματα και την οροφή ή την επιφάνεια των θερμαντικών στοιχείων του λέβητα. Η γεωμετρία και ο όγκος του πρέπει να επιλεγθούν με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται η απόθεση σκωρίας και τέφρας στα τοιχώματα του κλιβάνου. Αυτό επιτυγχάνεται με σχετικά χαμηλό φορτίο στον κλίβανο καθώς και με χαμηλές ταχύτητες απαερίων στο εσωτερικό του. Οι ταχύτητες των αερίων αυτών πρέπει να διατηρούνται χαμηλότερα από 3,5 με 4,0m/s ενώ ταυτόχρονα θα πρέπει να υπάρχει δυνατότητα ελέγχου της θερμοκρασίας στο εσωτερικό ώστε να αποφεύγονται οι ανεπιθύμητες διακυμάνσεις.

Η γεωμετρία της εστίας καύσης εξαρτάται από:

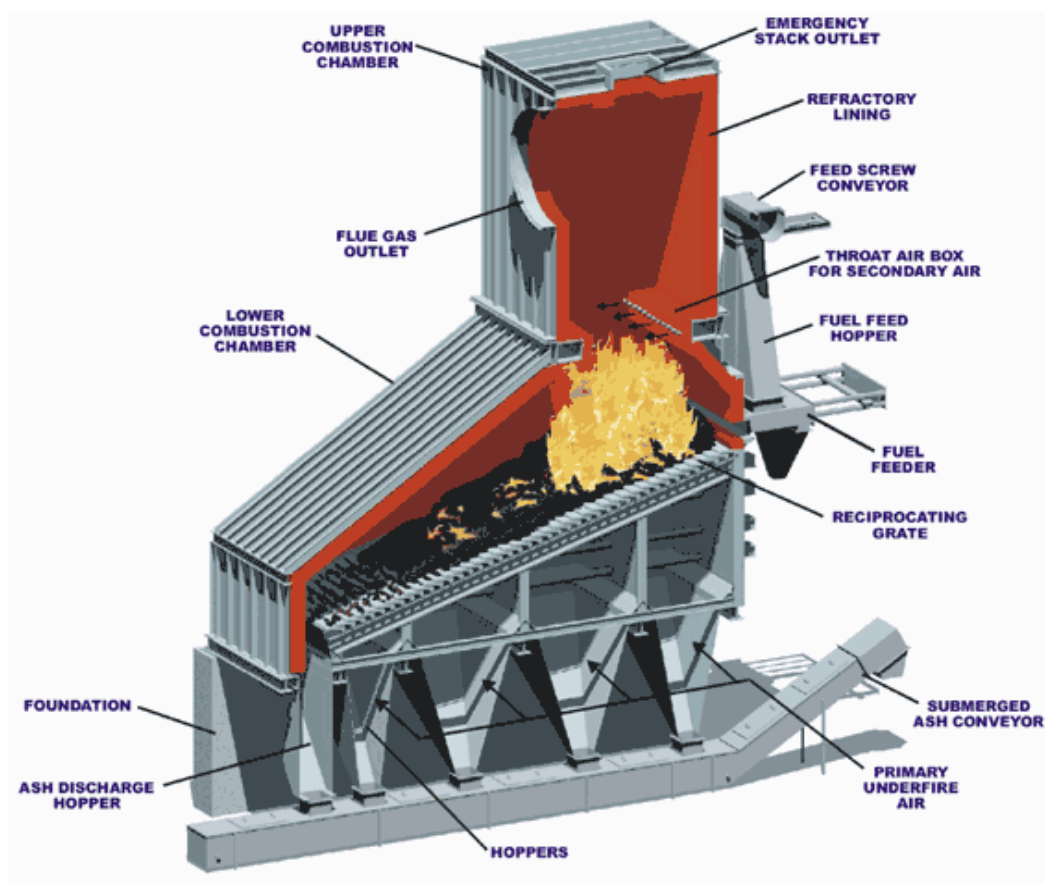
- το σχήμα και μέγεθος των εσχάρων καύσης,
- την διαδικασία καύσης επί των εσχάρων (ξήρανση, απαερίωση, καύση, μετάκαυση),
- τον στροβιλισμό και την ομογενοποίηση του ρεύματος των αερίων,
- τον αρκετό χρόνο παραμονής των αερίων στην περιοχή καύσης και
- την ψύξη των αερίων.

2.4.6 Είδη εστίας καύσης

2.4.6.1 Εστία εσχάρων

Οι εστίες καύσης εσχάρων αποτελούνται από τα εξής μέρη:

- διάταξη-φρεάτιο τροφοδότησης,
- μηχανική εσχάρα (με ηλεκτρική ή υδραυλική κίνηση) και χοάνη υποδοχής των διαρροών από την εσχάρα,
- φλογοθάλαμος,
- δοχείο σκωρίας,
- σύστημα προσαγωγής αέρα καύσης,
- σύστημα ελέγχου και ρύθμισης,
- βοηθητικοί καυστήρες για την εκκίνηση και διακοπή, όπως επίσης και για την εξασφάλιση μίας ελάχιστης θερμοκρασίας καύσης.



Σχήμα 2.7: Εστία καύσης απορριμμάτων με εσχάρες
Πηγή: [7]

Εστία καύσης και φλογοθάλαμος

Στην εσχάρα και στο χώρο επάνω από αυτήν λαμβάνουν χώρα οι χημικές αντιδράσεις, οι οποίες οξειδώνουν, εξυγιαίνουν και αδρανοποιούν το ανομοιογενές μίγμα των απορριμμάτων. Για το σκοπό αυτό προσάγεται στις περιοχές αυτές το οξειδωτικό μέσο, δηλ. ο αέρας καύσης. Επάνω στην εσχάρα λαμβάνουν χώρα ετερογενείς αντιδράσεις (δηλ. σε στερεά, υγρή και αέρια φάση) μέσα στα καιγόμενα απορρίμματα, ενώ κατά τη μετάκαυση στο φλογοθάλαμο και στην πρώτη διαδρομή των καυσαερίων στο λέβητα λαμβάνουν χώρα κατά κανόνα ομογενείς αντιδράσεις σε αέρια φάση. Η καύση στην εσχάρα επηρεάζεται σημαντικά από την οδήγηση των καυσαερίων επάνω από αυτήν, κάτι που καθορίζεται από την κατασκευαστική διαμόρφωση της εστίας.

Βρίσκεται ανάμεσα στις εσχάρες και στο θάλαμο δευτερογενούς καύσης. Σχηματίζεται με τοιχώματα επενδυμένα εσωτερικά με ανθιστάμενα υλικά. Ένα άνοιγμα επιτρέπει την εκκένωση των αερίων. Η ανάφλεξη των στερεών αποβλήτων στο φλογοθάλαμο επιτυγχάνεται με χρήση ειδικού καυστήρα, ο οποίος λειτουργεί με βοηθητικό καύσιμο. Βασικές παράμετροι για την σωστή λειτουργία των φλογοθαλάμων είναι:

- επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας,
- επαρκής χρόνος καύσης,
- επίτευξη συνθηκών στροβιλισμού / ομοιογενούς καύσης των αποβλήτων.

Η εσωτερική ανάμιξη του δευτερεύοντος αέρα που εισάγεται πάνω από την εσχάρα και των ατελώς καιγομένων αερίων είναι απαραίτητη γιατί έτσι πραγματοποιείται μια καύση όσο το δυνατό πιο τέλεια, ζεσταίνει με ακτινοβολία τα νωπά απορρίμματα, τα ξηραίνει και επιτρέπει με τη μεγάλη του θερμική αδράνεια, την συγκράτηση μιας ικανοποιητικής θερμοκρασίας, για μια καλή καύση των αερίων.

Για βέλτιστη λειτουργία στο φλογοθάλαμο - ανεξάρτητα όμως από το είδος και το σύστημα των εσχάρων που θα χρησιμοποιηθούν- συνιστώνται τα ακόλουθα:

- αύξηση του πρωτογενούς αέρα ακόμη και στο ποσοστό του 70% του συνολικού αέρα,
- αύξηση της προθέρμανσης του πρωτογενούς αέρα σε 120°C όταν τα απορρίμματα έχουν υψηλή θερμογόνο τιμή και σε 150 έως 180°C, όταν έχουν μέση ή χαμηλή θερμογόνο τιμή,
- ελάττωση της αναλογίας αέρα (1.4 - 1.6), ώστε να επιτευχθεί μείωση της τιμής του οξυγόνου κατά 8% επί των ξηρών αερίων,

- επαναφορά των αερίων με στόχο την μείωση του ποσοστού του οξυγόνου,
- προθέρμανση του δευτερογενή και του πρωτογενή αέρα,
- μη χρησιμοποίηση τριτογενούς αέρα για ψύξη.

Σύστημα αέρα καύσης

Ο αέρας καύσης αναρροφάται από δύο θέσεις:

- από την τάφρο απορριμμάτων,
- κάτω από το περίβλημα του λεβητοστασίου.

Ο αέρας καύσης διαχωρίζεται όπως προαναφέρθηκε στον πρωτογενή (που προσάγεται στο κάτω μέρος της εσχάρας και τη διαρρέει) και στον δευτερογενή (ο οποίος προσάγεται επάνω από την εσχάρα και μέσα στο φλογοθάλαμο με προορισμό την παραγωγή τύρβης και την ολοκλήρωση της καύσης).

Πρωτογενής αέρας καύσης:

- η αναρρόφηση γίνεται από το χώρο της τάφρου απορριμμάτων της μονάδας (ή εναλλακτικά κάτω από το περίβλημα του λέβητα),
- αποτελεί περίπου το 75% του συνολικά προσαγόμενου αέρα καύσης,
- υφίσταται κατά κανόνα διβάθμια προθέρμανση (1^η βαθμίδα: μέχρι 120°C, 2^η βαθμίδα: μέχρι 200°C),
- χρησιμοποιείται φυγοκεντρικός ανεμιστήρας (τυπική περίπτωση: 1500 στροφές/λεπτό, στατική πίεση: 50 mbar (5000 Pa)), ο οποίος εγκαθίσταται μέσα στο λεβητοστάσιο,
- υπάρχει δυνατότητα ρυθμιζόμενης κατανομής στις επιμέρους ζώνες της εσχάρας.

Δευτερογενής αέρας καύσης:

- η αναρρόφηση γίνεται κάτω από το περίβλημα του λέβητα,
- αποτελεί περίπου το 25% του συνολικά προσαγόμενου αέρα καύσης,
- ο ανεμιστήρας τοποθετείται κυρίως κάτω από τη χοάνη απορριμμάτων και είναι στατικής πίεσης μέχρι 80 mbar,
- η προθέρμανση είναι δόκιμη μέχρι τους 100°C (βελτιώνεται η κινητική των χημικών αντιδράσεων του CO και του CH₄),

- η προσαγωγή γίνεται στη στένωση, στην περιοχή της πρώτης διαδρομής των καυσαερίων στο φλογοθάλαμο (παραγωγή τύρβης για καλή ανάμιξη) και εναλλακτικά στο επάνω μέρος του φλογοθαλάμου.

Ανακυκλοφορία καυσαερίων:

Για την επίτευξη όσο το δυνατόν πληρέστερης καύσης των αερίων συστατικών, ένα μέρος του ρεύματος καυσαερίων (σε θερμοκρασία 220°C μετά την αποκονίωση) επανοδηγείται στην εστία καύσης. Η γεωμετρία της εστίας καύσης εξαρτάται από τα εξής:

- το μέγεθος, το σχήμα και την αρχή λειτουργίας των εσχάρων,
- το στροβιλισμό, την ομογενοποίηση, το χρόνο παραμονής και τον τρόπο ψύξης των απαερίων.

Για την εξασφάλιση της σωστής καύσης απαιτούνται:

- καλή κατασκευή των εσχάρων,
- βέλτιστη γεωμετρία του φλογοθαλάμου,
- παρεμβάσεις κατά τη λειτουργία ώστε να επιτευχθεί μείωση της τιμής O_2 σε 8% κ.ο. επί των ξηρών καυσαερίων.

Κατηγορίες εσχάρων βάσει της κατασκευής φλογοθαλάμου

Υπάρχουν τρεις κατασκευαστικές παραλλαγές φλογοθαλάμων που οδηγούν σε τρεις διαφορετικές εστίες καύσης:

Εστία καύσης ομορροής: μεγάλοι χρόνοι παραμονής σε υψηλές θερμοκρασίες, ιδιαίτερα ομογενής σύσταση καυσαερίων, ευνοϊκά χαμηλές τιμές μονοξειδίου του άνθρακα και οξυγόνου, πιθανά προβλήματα έναυσης σε περίπτωση χαμηλής θερμογόνου δύναμης.

Εστία καύσης αντιρροής: ιδιαίτερα κατάλληλη για απορρίμματα με χαμηλή θερμογόνο δύναμη, συνήθως κατασκευάζεται με εσχάρα οπισθοδρόμησης, το καυσαέριο ρέει πάνω από τη ζώνη ξήρανσης-προκαλεί έντονες ανομοιογένειες.

Εστία καύσης μεσορροής: μέση λύση των δύο παραπάνω-κλίνοντας προς την ομορροή, χαμηλότερες θερμοκρασίες φλογοθαλάμου και μικρότεροι χρόνοι παραμονής από ό,τι στην ομορροή.

Κατηγορίες εσχάρων βάσει του τρόπου τροφοδοσίας

Κύριος προορισμός της εσχάρας είναι η μεταφορά του καυσίμου (απορριμμάτων) μέσα στον αντιδραστήρα σε περίπου 1 ώρα. Για το σκοπό αυτό η εσχάρα πρέπει να σχεδιασθεί έναντι των ακόλουθων φορτίσεων:

- μηχανική φόρτιση από το βάρος των απορριμμάτων,
- θερμική φόρτιση από την εκλυόμενη θερμότητα κατά την καύση,
- χημική φθορά (διάβρωση),
- μηχανική φόρτιση εξαιτίας της κίνησης.



Εικόνα 2.5: Εσχάρες

Οι προδιαγραφές που πρέπει να τηρούν οι εσχάρες των μονάδων καύσης απορριμμάτων είναι:

- ακριβής ρύθμιση του πρωτογενούς αέρα,
- καμία μεταβολή στις διαστάσεις των διαθεσίμων ανοιγμάτων ροής για τον πρωτογενή αέρα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της εγκατάστασης,
- αποφυγή ανομοιογενειών στον πρωτογενή αέρα,
- μεταβλητότητα της ταχύτητας πρόωσης στις επιμέρους ζώνες,
- καλή ανάμιξη,
- μικρή στροβίλωση σωματιδίων σκόνης,
- μικρές διαρροές υλικού από την εσχάρα (διαμέσου των ανοιγμάτων ροής αέρα),
- αποφυγή της επικόλλησης τηγμένων υλικών στην εσχάρα, όπως και της οξείδωσης των εσχαρίων,
- εύκολη αντικατάσταση των εσχαρίων,
- μεγάλοι χρόνοι ακινησίας (διαστήματα συντήρησης).

α. Εσχάρες συνεχούς τροφοδοσίας

Ατέρμονη - κυλιόμενη εσχάρα: Τα απορρίμματα δεν αναδεύονται αλλά καίγονται στο ίδιο πάντα εσχάριο. Στην αρχή της εσχάρας πραγματοποιείται ξήρανση του φορτίου και στη συνέχεια καίγονται τα πτητικά.

Κυλινδρική εσχάρα: Αποτελείται από κυλινδρικά εσχάρια, τα οποία λειτουργούν ανεξάρτητα και έχει κλίση.

β. Εσχάρες ασυνεχούς τροφοδοσίας

Εσχάρα Πρόωσης: Αποτελούνται από τα εσχάρια τα οποία είναι το ένα τοποθετημένο πάνω στο άλλο σε σχηματισμό σκάλας και οι πρώτες σειρές προωθούν τα απορρίμματα στις επόμενες όπως το έμβολο. Η επιφάνεια της εσχάρας χωρίζεται σε τέσσερις ζώνες. Στην πρώτη γίνεται ξήρανση των απορριμμάτων, στη δεύτερη καίγονται τα πτητικά, στην τρίτη γίνεται η καύση του εξανθρακώματος και στην τελευταία η καύση των υπολοίπων. Η εσχάρα πρόωσης διακρίνεται σε δύο κατηγορίες: (α) εσχάρα εμπρόσθιας πρόωσης και (β) εσχάρα οπισθοδρόμησης (τύπου Martin).

Εσχάρα Αντώσεως: Έχει μεγάλη κλίση και η κίνηση των εσχάρων επιτυγχάνεται με ωστήριους ράβδους και με έμβολα λαδιού.

Η απόδοση των εσχάρων εξαρτάται από τις κατασκευαστικές ιδιότητές τους, τα χαρακτηριστικά των απορριμμάτων, τη θερμοκρασία και την ποσότητα του αέρα. Οι εσχάρες πρέπει να επικαλύπτονται με υλικό υψηλής αντοχής σε μηχανικές καταπονήσεις καθώς και σε θερμικές και χημικές επιδράσεις. Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δίδεται στην ανθεκτικότητά τους έναντι στο θείο και το χλώριο, τα οποία σε συνδυασμό με τις υψηλές θερμοκρασίες δημιουργούν έντονες διαβρωτικές συνθήκες. Τέλος θα πρέπει να έχουν την ικανότητα να διακινούν, να αναδεύουν και να ρυθμίζουν το πάχος της στρώσης των απορριμμάτων ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή επιφάνεια προς καύση.

Εκκίνηση καύσης

Κατά την εκκίνηση μίας μονάδας καύσης απορριμμάτων από την κρύα κατάσταση, ο φλογοθάλαμος πρέπει να θερμανθεί περίπου στους 850°C πριν αρχίσουν να εισέρχονται σε αυτόν απορρίμματα προς καύση. Επίσης πρέπει να εξασφαλισθεί ότι η ελάχιστη θερμοκρασία του φλογοθαλάμου κατά τη λειτουργία δε

θα κατέβει κάτω από αυτό το όριο. Για τους παραπάνω λόγους εγκαθίστανται στο φλογοθάλαμο καυστήρες έναυσης και καυστήρες υποστήριξης, οι οποίοι λειτουργούν με πετρέλαιο θέρμανσης ή με φυσικό αέριο (συχνά καυστήρες εναλλασσομένου καυσίμου). Οι καυστήρες έναυσης (συνήθως 2) πρέπει να μπορούν να καθαρίζονται δονητικά από επικαθίσεις.

Εάν οι καυστήρες έναυσης και υποστήριξης προδιαγραφούν για το 50% της ονομαστικής ισχύος της εσχάρας, η εκκίνηση μίας κρύας εστίας μπορεί να ολοκληρωθεί σε 6-8 ώρες. Ο παραπάνω χρόνος μπορεί να μειωθεί στο μισό, εάν οι θερμαντικές επιφάνειες του λέβητα προθερμανθούν με βοηθητικό ατμό.

Διαρροές εσχάρας

Το ποσοστό συμμετοχής των διαρροών υλικού από την εσχάρα στη συνολική ροή μάζας της σκωρίας ανέρχεται στο 1%. Έτσι, η περιεκτικότητα της σκωρίας σε άκαυστα επηρεάζεται ελάχιστα από τις διαρροές εσχάρας που είναι πλούσιες σε αυτά και αναμιγνύονται με αυτήν. Ακόμη δεν έχει δοκιμασθεί πειραματικά η επανοδήγηση των διαρροών εσχάρας στην εστία.

Αποσκωριωτής

Η θερμή σκωρία σβήνεται σε λουτρό νερού μέσα στο δοχείο σκωρίας του αποσκωριωτή, αφού προηγουμένως πέσει από την άκρη της εσχάρας, ενδεχομένως και με τη βοήθεια κυλίνδρου ανακοπής. Υπάρχουν δύο γενικές κατηγορίες αποσκωριωτών:

Αποσκωριωτές ωστηρίου, ασυνεχούς λειτουργίας:

Πλεονεκτήματα:

- μικρό περιεχόμενο σε νερό,
- μικρή μηχανική φθορά λόγω τριβής.

Μειονεκτήματα:

- κάποιος κίνδυνος στόμωσης («φρακαρίσματος»),
- δυσκολίες κατά την εκκένωση,
- ανάγκη για πρόσθετη διάταξη οδήγησης στην αποθήκη σκωρίας.

Αποσκωριωτές κυλινδρικής ταινίας, συνεχούς λειτουργίας:

Πλεονεκτήματα:

- μικρός κίνδυνος στουμπώματος,

- άμεση οδήγηση στην αποθήκη σκωρίας.

Μειονεκτήματα:

- μεγάλη μηχανική φθορά λόγω τριβής,
- μεγάλο περιεχόμενο σε νερό.

Ρύθμιση της εστίας

Καθοριστικά μεγέθη για τη ρύθμιση μίας εστίας καύσης με εσχάρα είναι:

- ροή μάζας στην εσχάρα,
- ποσότητα αέρα καύσης,
- κατανομή του αέρα καύσης σε πρωτογενή και δευτερογενή,
- κατανομή του πρωτογενούς αέρα στις επιμέρους ζώνες της εσχάρας,
- κατανομή του δευτερογενούς αέρα σε διαφορετικά ακροφύσια,
- χρόνος παραμονής των απορριμμάτων στην εστία,
- ανάδευση των απορριμμάτων στην εσχάρα,
- μήκος και μορφή της φλόγας στην εσχάρα και στο φλογοθάλαμο.

Ως κριτήριο καλής καύσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

- χρονική διακύμανση της παραγωγής ατμού,
- περιεκτικότητα O_2 στα καυσαέρια,
- περιεκτικότητα CO στα καυσαέρια,
- μορφή της φλόγας στο φλογοθάλαμο.

Η ρύθμιση της εστίας δεν είναι πλήρως αυτοματοποιημένη και εξαρτάται από την πείρα και την τέχνη του προσωπικού.

Διαδικασία καύσης

Τα φαινόμενα που συμβαίνουν επάνω στην εσχάρα διακρίνονται σε έξι επιμέρους ζώνες:

1. **Ζώνη ξήρανσης** (εκτείνεται στο αρχικό 20% του μήκους της εσχάρας): Τα εισερχόμενα απορρίμματα παραλαμβάνουν θερμότητα με ακτινοβολία από τη φλόγα (ακτινοβολία αερίων και σωματιδίων) και με συναγωγή από τον προθερμασμένο πρωτεύοντα αέρα καύσης, με αποτέλεσμα να εξατμίζεται η περιεχόμενη σε αυτά υγρασία και τα πτητικά συστατικά.

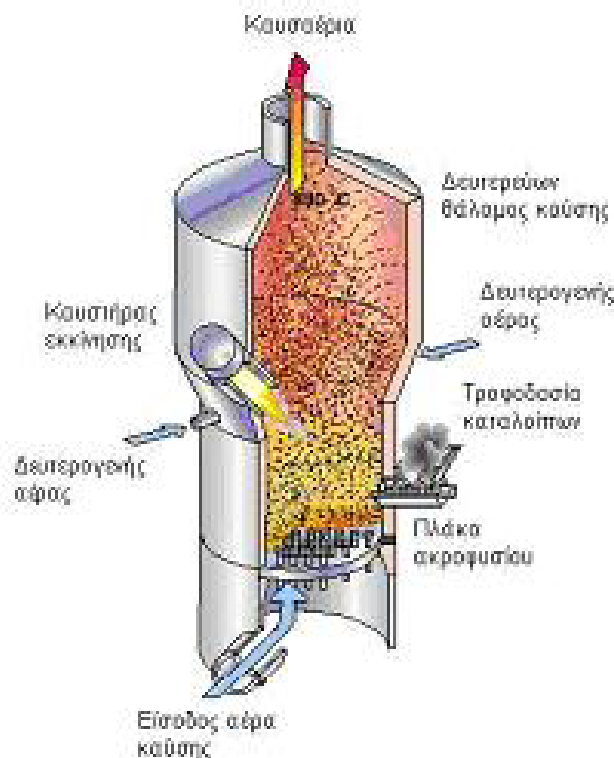
2. **Ζώνη πυρόλυσης:** Αυξάνοντας τη θερμοκρασία εξατμίζονται διαρκώς περισσότερα πτητικά συστατικά.
3. **Ζώνη έναυσης:** Η απαραίτητη θερμότητα για την έναυση του στερεού υλικού προσδίδεται σε αυτό από επάνω με ακτινοβολία (από τη φλόγα και τα εσωτερικά τοιχώματα του φλογοθαλάμου).
4. **Ζώνη εξαερίωσης:** Η μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας εξαιτίας της πλήρους έναυσης των απορριμμάτων προκαλεί εξαερίωση μιας ποικιλίας υλικών που περιέχονται σε αυτά.
5. **Ζώνη καύσης:** Ο εναπομένον άνθρακας οξειδώνεται πλήρως, ενώ στο φλογοθάλαμο καίγονται τα αέρια που παράχθηκαν από τις φάσεις της πυρόλυσης και της εξαερίωσης. Μεγάλη σημασία έχει η επαρκής ψύξη της εσχάρας από το πρωτεύοντα αέρα που τη διαρρέει.
6. **Ζώνη ολοκλήρωσης της καύσης:** Η ολοκλήρωση της καύσης αποδίδει αρκετά αδρανοποιημένο (ανόργανο) στερεό υπόλειμμα στο τέλος της εσχάρας.

2.4.6.2 Θερμική επεξεργασία με εστία τύπου ρευστοποιημένης κλίνης

Η ρευστοποιημένη κλίνη (Σχήμα 2.8) χαρακτηρίζεται από μια γρήγορη, συνεχή και εναλλασσόμενη κίνηση των σωματιδίων στο χώρο. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται τα τελευταία 25 χρόνια και ένας από τους σπουδαιότερους λόγους προτίμησής της είναι ο έλεγχος του αποτεφρωτήρα και συγκεκριμένα ο έλεγχος της αντίδρασης καύσης, της ρύπανσης και της λειτουργίας.

Στην καύση με εστία ρευστοποιημένης κλίνης, η καύσιμη ύλη καίγεται σε μια κλίνη από αδρανές υλικό. Η θερμότητα που ελευθερώνεται δεσμεύεται στο μεγαλύτερο μέρος της από τις θερμαντικές επιφάνειες. Πριν τροφοδοτηθούν τα απορρίμματα προς καύση, γίνεται εκκίνηση του λέβητα με τη βοήθεια ενός καυστήρα πετρελαίου ή αερίου, ώστε να επιτευχθεί η θερμοκρασία ανάφλεξης. Οι εγκαταστάσεις ρευστοποιημένης κλίνης διακρίνονται σε τρία είδη:

- σταθερή,
- περιστροφική,
- ταχεία,



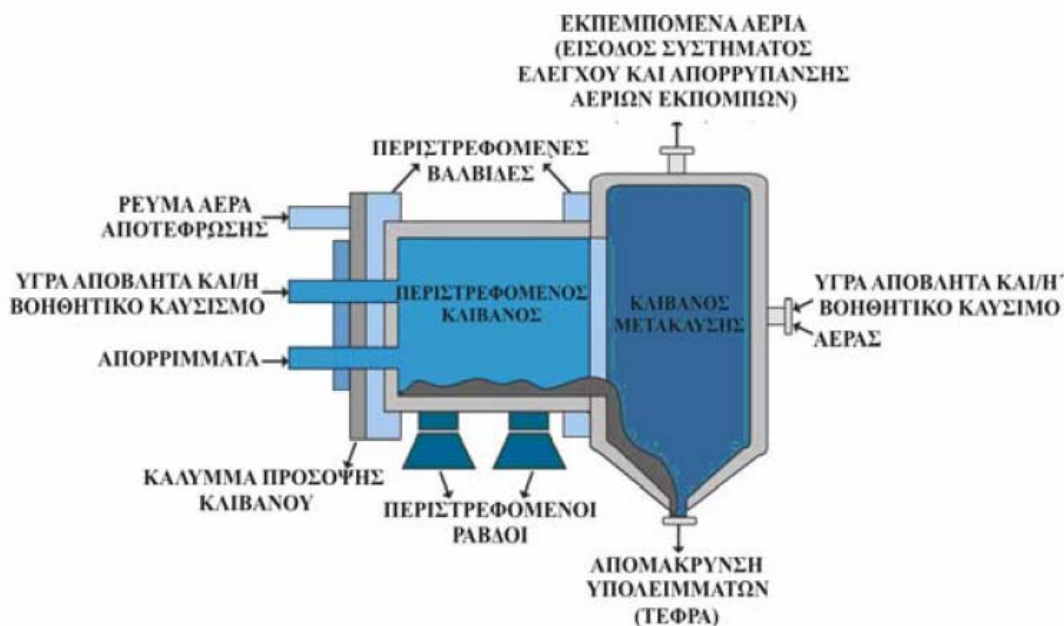
Σχήμα 2.8: Εστία ρευστοποιημένης κλίνης

2.4.6.3 Θερμική επεξεργασία με περιστρεφόμενο κλίβανο

Το σύστημα περιστρεφόμενου κλιβάνου αποτελείται από:

- το σύστημα υποδοχής,
- το δοσομετρικό σύστημα,
- τον περιστρεφόμενο κύλινδρο,
- το σύστημα παροχής αέρα,
- τον επιπλέον καυστήρα,
- το θάλαμο μετάκαυσης (τοποθετείται ώστε να διευκολυνθεί η πλήρης καύση των απορριμμάτων, λόγω του ότι ο χρόνος παραμονής τους είναι μικρός),
- Το σύστημα απομάκρυνσης της σκόνης και της σκωρίας.

Στους συμβατικούς περιστρεφόμενους κλιβάνους, ο κύλινδρος είναι οριζόντιος και περιστρέφεται περί του άξονα του. Το υλικό (πρέπει να υπάρχει σταθερή και συνεχής παροχή) αναδεύεται, καίγεται και οδηγείται στο άλλο άκρο με την κατάλληλη κλίση (2-4%). Η καταστροφή των οργανικών επιτυγχάνεται με συνδυασμό υψηλών θερμοκρασιών και κατάλληλου χρόνου παραμονής. Γενικά, όσο μεγαλύτερη η θερμοκρασία, τόσο μικρότερος ο χρόνος παραμονής που απαιτείται για την καύση.



Σχήμα 2.9: Αποτεφρωτής περιστρεφόμενου κλιβάνου
Πηγή: [6]

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι τα εξής:

- έχει τη δυνατότητα να κάψει μεγάλη ποικιλία αποβλήτων,
- τα απορρίμματα δε χρειάζονται προεπεξεργασία,
- ελέγχεται εύκολα ο χρόνος παραμονής των απορριμμάτων στον κλίβανο,
- επιτυγχάνεται αποτελεσματική επαφή με τον αέρα.

ενώ στα μειονεκτήματα συγκαταλέγονται τα παρακάτω:

- παραγωγή μεγάλης ποσότητας σωματιδίων λόγω υψηλής στροβιλότητας και τριβής που δημιουργείται στον κλίβανο,
- απαιτείται μεγάλη ποσότητα περίσσειας αέρα (100-150%),
- ένα μεγάλο μέρος της θερμότητας χάνεται με τη στάχτη,
- είναι αναγκαίος συχνά ένας θάλαμος μετάκαυσης.

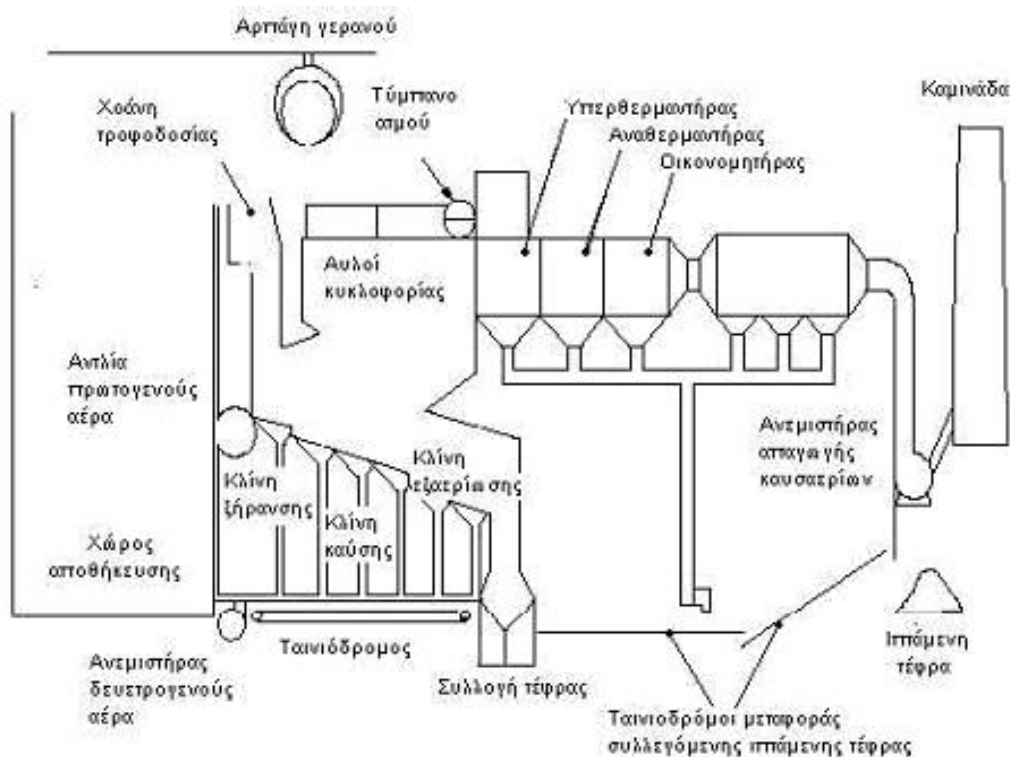
2.4.7 Είδη θαλάμου καύσης

2.4.7.1. Μαζική καύση

Τα σύμμεικτα απορρίμματα αποτεφρώνονται στις μονάδες μαζικής καύσης, χωρίς να είναι απαραίτητος κάποιος προηγούμενος διαχωρισμός. Χαρακτηριστικό των μονάδων αυτών είναι ότι διαθέτουν μόνο έναν θάλαμο καύσης. Κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- εσχάρων (πρόωσης θαλάμων με πυρίμαχα τοιχώματα),

- λεβήτων με υδραυλούς (Σχήμα 2.10),
- περιστρεφόμενου, κεκλιμένου, υδρόψυκτου κλιβάνου.



Σχήμα 2.10: Διάταξη μονάδας μαζικής καύσης απορριμμάτων με υδραυλωτό λέβητα.
Πηγή: [3]

Προσοχή πρέπει να δοθεί στην αποτροπή εισόδου προβληματικών υλικών στη μονάδα, όπως ογκώδη, παλαιά ελαστικά αυτοκινήτων, πλαίσια και υλικά περίφραξης. Στην περίπτωση μη ύπαρξης διαχωριστών στο σύστημα, είναι δύσκολη η εκτροπή από τη συνολική ροή των απορριμμάτων υλικών όπως γυαλί, μεταλλικά κουτιά και μπαταρίες. Υπάρχουν διάφορες κατασκευαστικές παραλλαγές της τυπολογίας που αφορούν κυρίως στοιχεία τροφοδότησης, ανάμιξης και περιστροφής.

i. Μαζική καύση εσχαρών

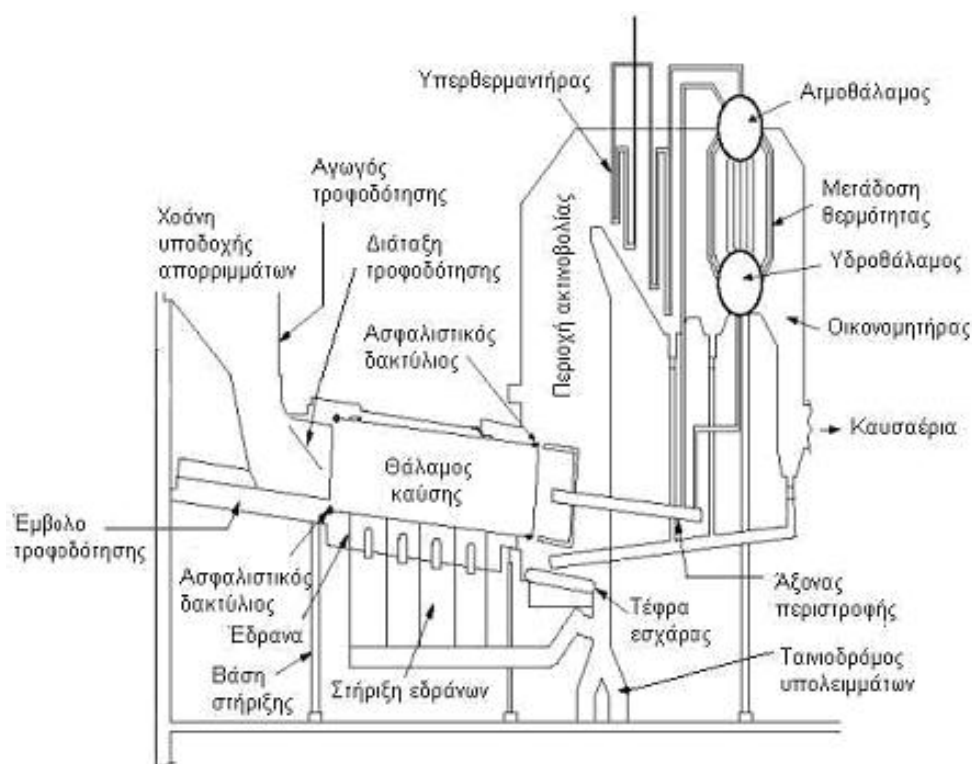
Οι μονάδες μαζικής καύσης πυρίμαχων τοιχωμάτων με εσχάρες πρόωσης χρησιμοποιήθηκαν κατά τη δεκαετία του '70 και στις αρχές του '80. Στόχος τους αποτέλεσε η μείωση του όγκου των απορριμμάτων κατά 70-90% χωρίς να πραγματοποιείται ανάκτηση ενέργειας.

Στις εγκαταστάσεις μαζικής καύσης με υδραυλούς πραγματοποιείται ανάκτηση ενέργειας από τον παραγόμενο ατμό του λέβητα. Οι μονάδες αυτές παρουσιάζουν

υψηλότερο βαθμό απόδοσης καύσης από ό,τι οι εγκαταστάσεις πυρίμαχων τοιχωμάτων, αν και η μείωση του όγκου των απορριμμάτων παραμένει περίπου η ίδια.

ii. Μαζική καύση περιστρεφόμενου κλιβάνου

Στις μονάδες μαζικής καύσης περιστρεφόμενου υδρόψυκτου κλιβάνου κλίσης 15-20°, η είσοδος των απορριμμάτων πραγματοποιείται στο υψηλότερο σημείο με υδραυλικό έμβολο (Σχήμα 2.11). Ο προθερμασμένος αέρας καύσης αποστέλλεται προς τον κλίβανο από διάφορες εισόδους. Η αργή περιστροφή του κλιβάνου (10-20 περιστροφές/ώρα) έχει ως αποτέλεσμα την ανάδευση των απορριμμάτων και ως εκ τούτου την πλήρη καύση τους.



Σχήμα 2.11: Διάταξη μαζικής καύσης με περιστρεφόμενο κλίβανο

Πηγή: [3]

Ο περιστρεφόμενος κλίβανος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμη και για την καύση των βιομηχανικών αποβλήτων και των ρυπασμένων εδαφών, επειδή έχει τη δυνατότητα να κάψει εκτός από στερεά απορρίμματα και υγρά σε σημαντικές περιεκτικότητες (κάτι που δεν μπορεί να κάνει π.χ. η εσχάρα).

2.4.7.2 Τμηματική καύση

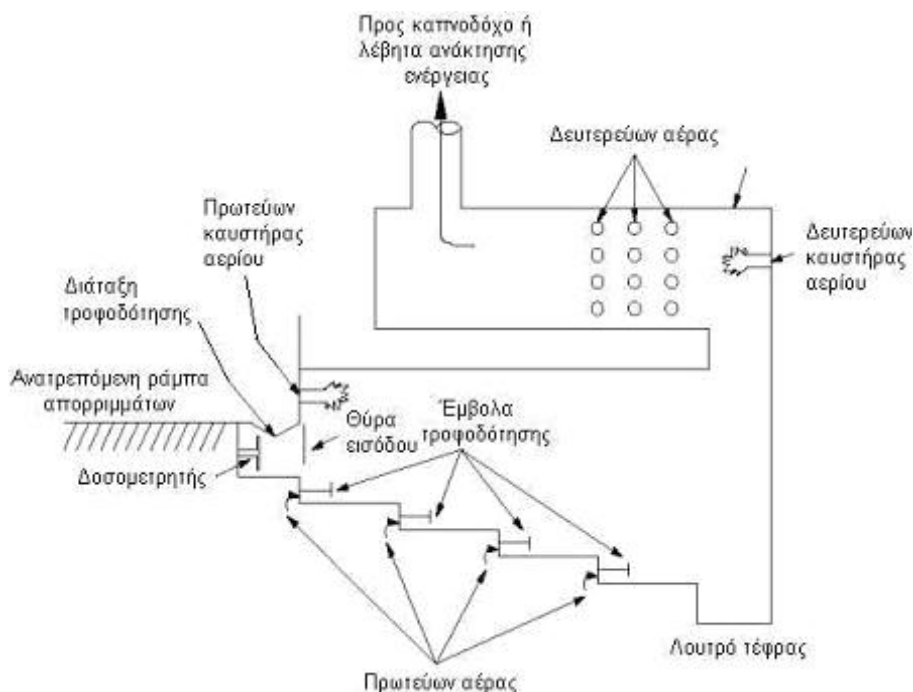
Οι μονάδες τμηματικής καύσης μεταφέρονται προκατασκευασμένες και δέχονται μη επεξεργασμένα απορρίμματα. Χαρακτηρίζονται από μικρές δυναμικότητες (18 έως 270 tn/d) και διακρίνονται σε μονάδες:

- έλλειψης ή ελεγχόμενου αέρα,
- περίσσειας αέρα.

ι. Τμηματική καύση με σύστημα ελεγχόμενου αέρα

Η μέθοδος ελεγχόμενου αέρα είναι γνωστή και ως καύση σε συνθήκες έλλειψης αέρα. Στο Σχήμα 2.12 παρουσιάζεται ένα διάγραμμα μονάδας τμηματικής καύσης ελεγχόμενου αέρα με έμβολα τροφοδότησης.

Αρχικά, τα απόβλητα προς καύση εισάγονται στο βασικό (ή πρωτεύοντα) θάλαμο καύσης, μαζί με ποσότητα αέρα ή οξυγόνου μικρότερη της απαιτούμενης στοιχειομετρικής για την καύση των αποβλήτων (δεν ξεπερνά το 60-70% της στοιχειομετρικής). Ο αέρας καύσης (πρωτεύων αέρας) εισέρχεται κάτω από την κλίνη με τη βοήθεια ενός μηχανισμού. Στο βασικό θάλαμο είναι απαραίτητη η παρουσία τουλάχιστον ενός καυστήρα, ώστε να επιτευχθεί η απαραίτητη θερμοκρασία λειτουργίας.



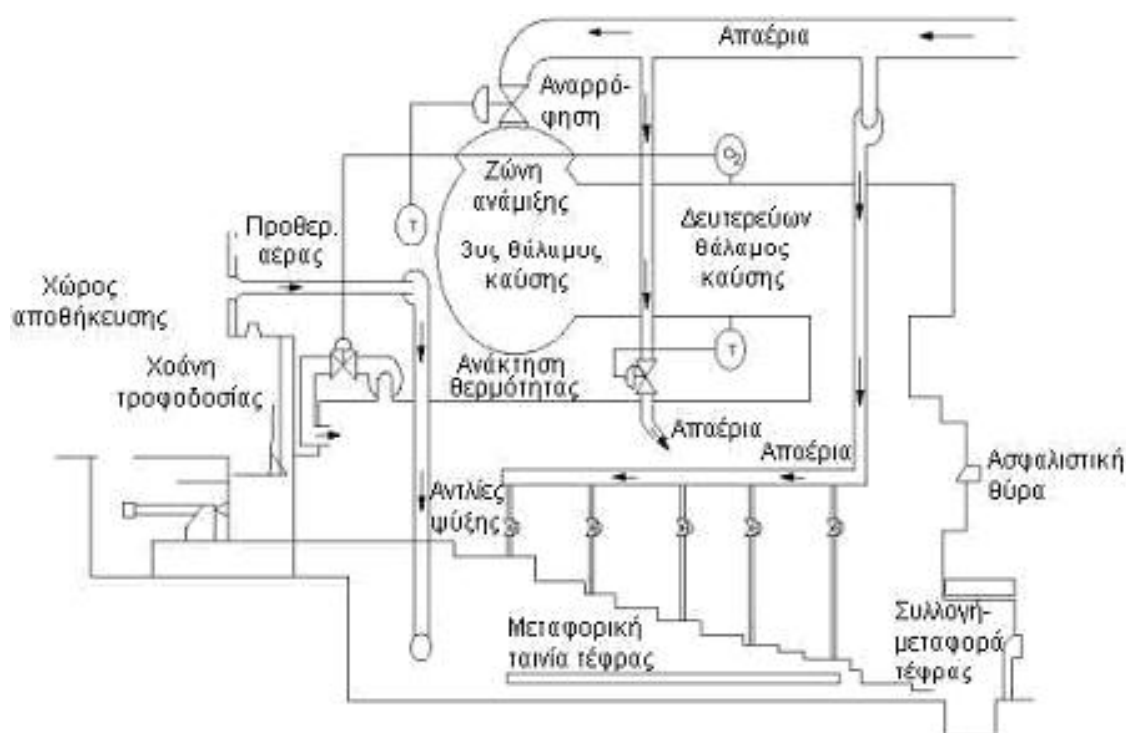
Σχήμα 2.12: Μονάδα τμηματικής καύσης ελεγχόμενου αέρα με έμβολα τροφοδότησης
Πηγή: [3]

Τα παραγόμενα αέρια από την πρωτοβάθμια (ή πρωτογενή) καύση εισέρχονται στο δευτερεύοντα θάλαμο απαερίωσης, όπου προστίθεται περίσσεια αέρα (100% έως 140% της στοιχειομετρικής ποσότητας) μέσω ανεμιστήρα για να ολοκληρωθεί η καύση. Στο θάλαμο αυτό, οι θερμοκρασίες που επικρατούν είναι υψηλότερες από ό,τι στο βασικό.

Είναι πιθανό, ανάλογα με τη θερμογόνο δύναμη και την περιεχόμενη υγρασία των αποβλήτων, να χρειασθεί επιπλέον πρόσδοση θερμότητας, φαινόμενο που μπορεί να προβλεφθεί με την τοποθέτηση βοηθητικών καυστήρων. Οι βοηθητικοί καυστήρες τοποθετούνται στην είσοδο του δευτερεύοντος θαλάμου, ώστε να διατηρηθούν οι επιθυμητές θερμοκρασίες κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες λειτουργίας και παροχής απαερίων.

ii. Καύση σε συνθήκες περίσσειας αέρα

Η μονάδα που λειτουργεί με συνθήκες περίσσειας αέρα είναι μία μικρή πολυβάθμια μονάδα επεξεργασίας (Σχήμα 2.13). Τυπικά, η πολυβάθμια μονάδα καύσης είναι μία συμπαγής εγκατάσταση που περιλαμβάνει εσωτερικά μία σειρά από θαλάμους και διαχωριστικά, τα οποία μπορούν να λειτουργούν διαδοχικά ή ομαδικά.



Σχήμα 2.13: Μονάδα τμηματικής καύσης περίσσειας αέρα

Πηγή: [3]

Η απαίτηση σε αέρα και στους δύο θαλάμους είναι υψηλότερη της στοιχειομετρικής (100 - 150% περίσσεια αέρα). Τα απόβλητα εισέρχονται στον πρώτο θάλαμο καύσης και στη συνέχεια, αφού κλείσει η πόρτα τροφοδοσίας αποβλήτων, αναφλέγονται ένας ή δύο καυστήρες, ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία στο δεύτερο θάλαμο. Όταν η θερμοκρασία φθάσει στο στόχο της, τότε αναφλέγεται και ο καυστήρας του πρώτου θαλάμου καύσης. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, τα απόβλητα αποξηραίνονται, αναφλέγονται και καίγονται από τη θερμότητα που συντηρείται από τον καυστήρα του πρώτου θαλάμου διαμέσου των τοιχωμάτων του. Η υγρασία και τα πτητικά συστατικά των αποβλήτων αεριοποιούνται και διαφεύγουν μαζί με τα παραγόμενα αέρια της καύσης από τον πρώτο στο δεύτερο θάλαμο διαμέσου μιας φλεγόμενης θύρας.

Στη συνέχεια εισάγεται περίσσεια αέρα από τη φλεγόμενη θύρα, ο οποίος αναμιγνύεται με τα πτητικά συστατικά στο χώρο του δευτέρου θαλάμου καύσης, όπου είναι τοποθετημένοι ένας ή δύο καυστήρες ώστε να συντηρήσουν επαρκώς τη θερμοκρασία για την καύση των πτητικών ουσιών. Ο ρόλος του δευτέρου θαλάμου καύσης είναι να εξασφαλίσει τον απαραίτητο χρόνο, την απαραίτητη θερμοκρασία και τη συμπληρωματική ποσότητα καυσίμου για την καύση των οργανικών συστατικών που δεν πρόλαβαν να καούν στον πρωτεύοντα θάλαμο. Τα καυσαέρια εξέρχονται από το δεύτερο θάλαμο, ο οποίος είναι συνδεδεμένος με την καπνοδόχο είτε απ' ευθείας είτε μέσω συσκευής ελέγχου ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Τα πλεονεκτήματα των μονάδων αυτών είναι:

- δέχονται ποικιλία αποβλήτων,
- εύκολος έλεγχος του χρόνου παραμονής των απορριμμάτων στον κλίβανο,
- αποτελεσματική επαφή των απορριμμάτων με τον αέρα.

Στα μειονεκτήματά τους συγκαταλέγονται:

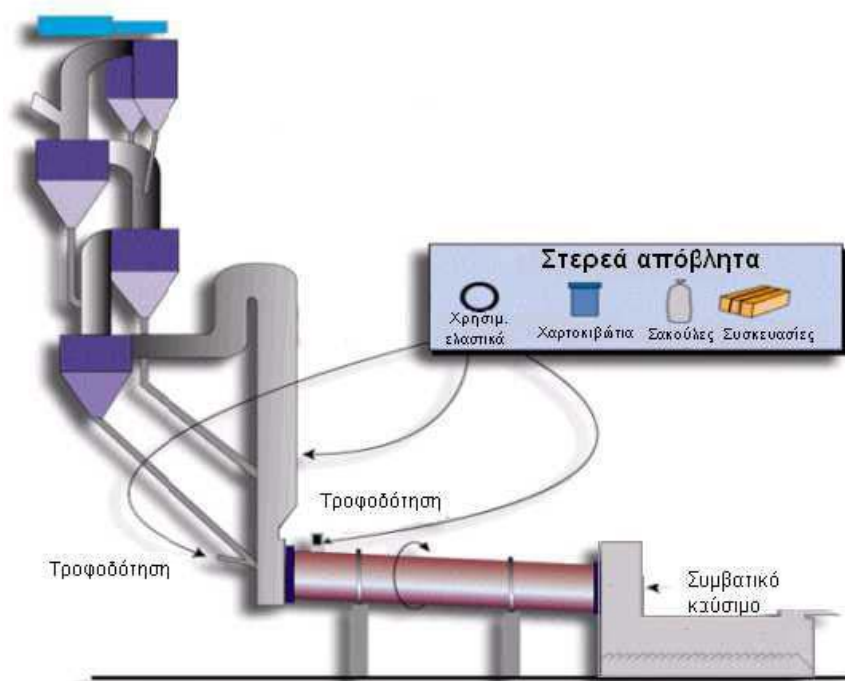
- η παραγωγή μεγάλης ποσότητας σωματιδίων στα απαέρια,
- η απαίτηση ύπαρξης του δευτερεύοντα θαλάμου καύσης,
- η υψηλή απαιτούμενη περίσσεια αέρα,
- οι υψηλές απώλειες θερμότητας της τέφρας.

Η θύρα εξόδου των αποβλήτων ελέγχεται από τη ρύθμιση της περιστροφικής κίνησης του κλιβάνου και της γωνίας κλίσης του. Στο τέλος της καύσης έχει απομείνει προς το τέλος του κλιβάνου τέφρα, η οποία απορρίπτεται σε ξηρή μορφή ή

σβήνεται σε λουτρό νερού. Οι εγκαταστάσεις έλλειψης (ή ελεγχόμενου) αέρα είναι οικονομικότερες σε σχέση με τις αντίστοιχες της περίσσειας. Η προσαγόμενη ποσότητα αέρα στον πρωτεύοντα θάλαμο καύσης είναι μικρότερη της στοιχειομετρικής. Τα απαέρια οδηγούνται στο δευτερεύοντα θάλαμο καύσης, όπου πραγματοποιείται καύση περίσσειας αέρα με τη βοήθεια συμβατικού καυσίμου (π.χ. φυσικό αέριο). Οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται ομοιόμορφα στο δευτερεύοντα θάλαμο καύσης, σε συνδυασμό με την καλή ανάμιξη που επιτυγχάνεται από την τύρβη των απαερίων, συνεισφέρουν στη μείωση του σχηματισμού και των εκπομπών σωματιδίων και οργανικών ρύπων. Με τον τρόπο αυτό δεν απαιτούνται εκτενή συστήματα ελέγχου της αέριας ρύπανσης.

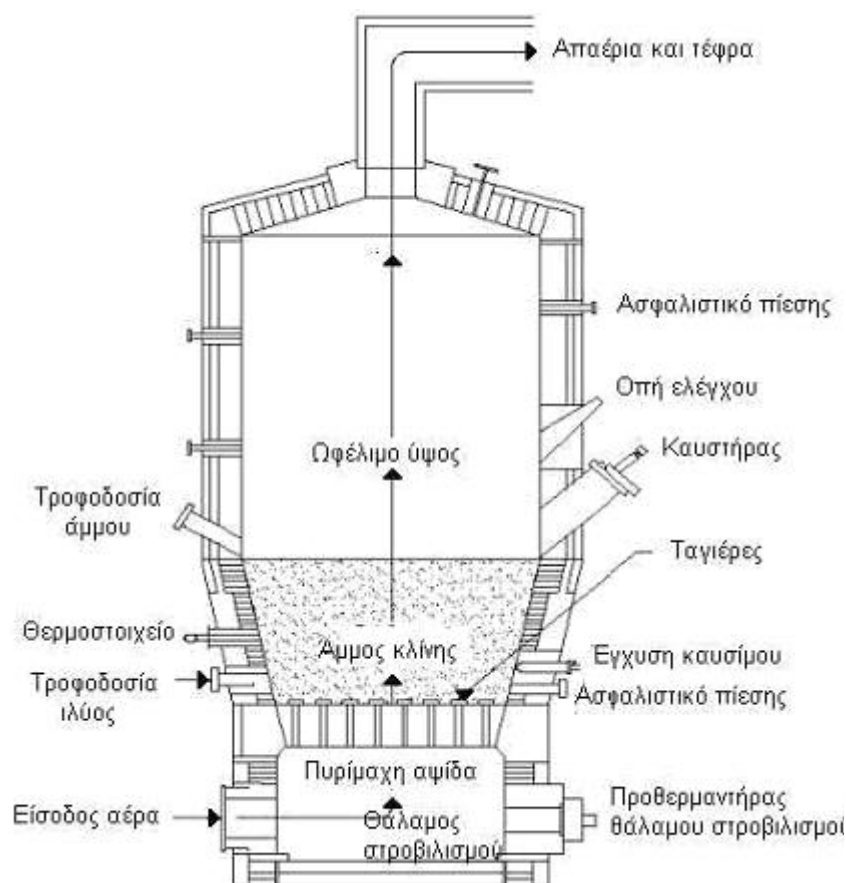
2.4.7.3 Καύση ΚαΣ

Τα ανακτώμενα υλικά (γυαλί, σιδηρούχα μέταλλα και αλουμίνιο) διαχωρίζονται από τη μάζα των απορριμμάτων μηχανικά και συλλέγονται για επεξεργασία και μελλοντική πώληση ή διάθεση. Το κλάσμα των υπόλοιπων υλικών (χαρτί, πλαστικό, Δ-Ξ-Λ-Υ, λοιπά καύσιμα) ονομάζεται Καύσιμο από Σκουπίδια [ΚαΣ (RDF)]. Η χρήση του ΚαΣ πραγματοποιείται, τόσο στην ίδια τη μονάδα παραγωγής του όσο και σε κλιβάνους της τσιμεντοβιομηχανίας αυτούσιο ή με τη μορφή πελετών (πλεονέκτημα εύκολης μεταφοράς και αποθήκευσης (Σχήμα 2.14).



Σχήμα 2.14: Χρήση αποβλήτων υψηλής θερμογόνου δύναμης στην τσιμεντοβιομηχανία

Το ΚαΣ μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην εστία καύσης μετά από επεξεργασία με την οποία επιτυγχάνεται η ομογενοποίηση και μείωση του όγκου του. Στους θαλάμους ΚαΣ η εστία είναι συνήθως ρευστοποιημένης κλίνης (Σχήμα 2.15), κάτω από την οποία διοχετεύεται ο πρωτογενής αέρας καύσης. Οι εγκαταστάσεις καύσης ΚαΣ λειτουργούν με περίσσεια αέρα 80-100%. Η καύση του ΚαΣ πραγματοποιείται στο φλογοθάλαμο, μεταξύ του οποίου και του συστήματος καθαρισμού καυσαερίων παρεμβάλλεται διάταξη λέβητα.



Σχήμα 2.15: Εστία ρευστοποιημένης κλίνης ΚαΣ

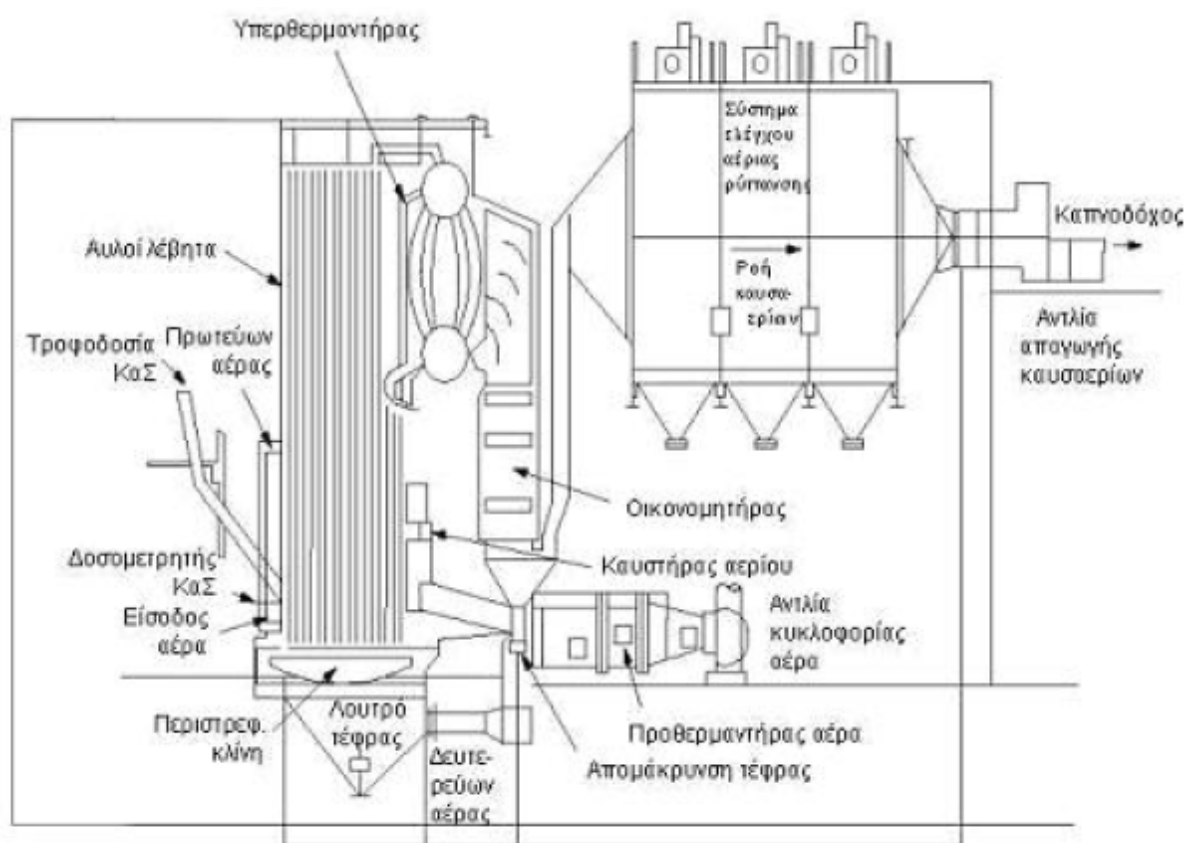
Ο διερχόμενος από τα ακροφύσια αέρας υπό πίεση (30-100% περίσσεια) «ρευστοποιεί» το υπόστρωμα της κλίνης (CaCO_3), το οποίο διαστελλόμενο καταλαμβάνει διπλάσιο όγκο. Το ΚαΣ εισάγεται στην επιφάνεια του αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης. Η πραγματοποιούμενη ανάδευση ευνοεί τη δημιουργία τύρβης και την ανάμιξη με ευεργετικά αποτελέσματα στη μετάδοση θερμότητας (θερμοκρασία κλίνης 815°C). Το βοηθητικό καύσιμο δεν είναι απαραίτητο μετά την εκκίνηση και η κλίνη παραμένει σε υψηλή θερμοκρασία για περίπου 24 ώρες καθιστώντας αυτοδύναμη την επανεκκίνηση της μονάδας.

Οι μονάδες καύσης ΚαΣ (Σχήμα 2.16) διαθέτουν κατεργαστές και επεξεργαστές για τη μείωση του όγκου των σωματιδίων. Λόγω του ότι στα απορρίμματα ενδεχομένως να υπάρχουν εκρηκτικά ή εύφλεκτα υλικά, οι κατεργαστές είναι εξοπλισμένοι με κατάλληλες ασφαλιστικές διατάξεις. Με τον τρόπο αυτό, δημιουργείται η απαραίτητη τύρβη για τη βελτιστοποίηση της καύσης

Λόγω των γνωστών χαρακτηριστικών της εισερχόμενης μάζας απορριμμάτων, οι μονάδες αυτού του τύπου ανταποκρίνονται εύκολα στις απαιτήσεις προστασίας του

περιβάλλοντος με τη χρήση κατάλληλων συστημάτων παρακράτησης ρύπων και επεξεργασίας υπολειμμάτων.

Τα συστήματα θερμικής επεξεργασίας με ΚαΣ θεωρούνται αποδοτικότερα αυτών της μαζικής καύσης λόγω της ομογενοποιημένης φύσης του ΚαΣ, η οποία επιτρέπει τον έλεγχο της καύσης και μεγαλύτερη απόδοση των συστημάτων κατακράτησης ρύπων. Επιπρόσθετα, μια προσεκτική σχεδίαση του συστήματος μπορεί να απομακρύνει σημαντικό μέρος των μετάλλων, πλαστικών και άλλων υλικών που μπορεί να συμβάλλουν στην εκπομπή επικίνδυνων αερίων. Στην περίπτωση ανυπαρξίας αγοράς ανακυκλώσιμων, η συνολική ποσότητα προς ΤΔ στους χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων είναι μεγαλύτερη αυτής των μονάδων μαζικής καύσης.



Σχήμα 2.16: Μονάδα κάυσης ΚαΣ με λέβητα

Ο διαχωρισμός των μονάδων αυτής της τυπολογίας προκύπτει από τη ροή αποβλήτων που δέχονται (μόνο ΚαΣ ή ΚαΣ-δημοτικά στερεά) και από τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά (εσχάρες καύσης ή ρευστοποιημένης κλίνης). Οι μονάδες ρευστοποιημένης κλίνης ΚαΣ διακρίνονται σε:

- κλίνης φυσαλίδων (bubbling-bed),
- ανακυκλοφορούσας κλίνης (circulating-bed).

Το σύστημα καύσης αποτελείται από κατακόρυφο χαλύβδινο κύλινδρο με αμμώδη ή ασβεστολιθική κλίνη, βοηθητική εσχάρα υποστήριξης, και ακροφύσια (γνωστά ως «ταγιέρες») για την έγχυση του αέρα. Η χρήση ασβεστόλιθου ως υλικού κατασκευής της κλίνης, επιτρέπει την καύση ανθρακούχων υψηλής περιεκτικότητας σε θείο με ελάχιστες εκπομπές διοξειδίου θείου.

2.4.8 Σύστημα απομάκρυνσης υπολειμμάτων

Κατά την καύση των απορριμμάτων στερεά υπολείμματα παραμένουν σε ποσοστό 25 με 40% του ολικού βάρους των απορριμμάτων. Η ακριβής απομένουσα ποσότητα των στερεών υπολειμμάτων εξαρτάται τόσο από τη σύνθεση των προσαγομένων απορριμμάτων όσο και από τα τεχνικά χαρακτηριστικά και τη λειτουργία της μονάδας καύσης.

Στερεά Υπολείμματα Πυθμένα

Τα στερεά υπολείμματα του πυθμένα διακρίνονται στα:

- στερεά υπολείμματα τα οποία διαπερνούν τις εσχάρες (1 - 2%)
- στερεά υπολείμματα τα οποία εξέρχονται από τις εσχάρες (20 - 35%).

Από εξέταση της μορφολογίας των υπολειμμάτων αυτών, διαπιστώνεται πως παρουσιάζουν ιδιαίτερα γωνιακή υφή με περιεχόμενες φυσαλίδες σκωρίας, οι οποίες αναπτύσσουν ένα ικανό πορώδες.

Οι βασικές παράμετροι του συστήματος απομάκρυνσης των υπολειμμάτων του πυθμένα, είναι η ψύξη και η αφύγρανση.

Τα υπολείμματα συγκεντρώνονται σε φρεάτιο υπολειμμάτων στο τέλος των εσχάρων και από εκεί μεταφέρονται, με τη βοήθεια ιμάντων, σε ειδικά μπάνια νερού για ψύξη των υπολειμμάτων. Η ποσότητα του νερού που απαιτείται για το σβήσιμο είναι 3.5 με 6.0 m³/tn-υπολειμμάτων.

Τα κυριότερα συστήματα απομάκρυνσης των υπολειμμάτων είναι:

- το πνευματικό σύστημα
- το σύστημα των κοχλιών

- το σύστημα με τις πλάκες παρεκκλίσεως.

Το πλάτος του συστήματος απομάκρυνσης των υπολειμμάτων είναι συνήθως το 80% του πλάτους των εσχάρων. Ως υλικό κατασκευής του μπάνιου νερού, χρησιμοποιείται η ατσάλινη λαμαρίνα. Τα πλέον συνηθισμένα είδη είναι το σύστημα του ιγδιόχειρου, το σύστημα των δίσκων και το σύστημα των αλυσίδων. Ο όγκος του νερού ελέγχεται αυτόματα με μαγνητική βαλβίδα [25].

Σύμφωνα με τον H.G. Rigo [Atwater, J. And Sims, D., 1993], τα διηθήματα των υπολειμμάτων του πυθμένα μπορούν να δημιουργήσουν περιβαλλοντικά προβλήματα. Παρόλα αυτά, δεν κατατάσσονται ως ειδικό απόβλητο. Παράλληλα είναι δυνατή η χρησιμοποίησή τους σε δομικές εφαρμογές. Ο Atwater [Atwater, J. And Sims, D., 1993] επικεντρώνεται στις πιθανές χρήσεις των στερεών υπολειμμάτων του πυθμένα σε διάφορα πιθανά σενάρια, όπως:

- Παραγωγή τσιμέντου
- Υλικό πλήρωσης
- Μείγμα αδρανών για σκυροδέματα
- Επικάλυψη σε ΧΥΤΑ
- Ενσωμάτωση σε τούβλα
- Ενσωμάτωση σε θερμοπλαστικά.

Σε κάποια από τα παραπάνω σενάρια απαιτούνται πρόσθετες διεργασίες, όπως διαχωρισμός και ταξινόμηση των κλασμάτων ανάλογα με το μέγεθος ή τη χημική τους σύσταση, επιπλέον απομάκρυνση μετάλλων κ.α. Μια άλλη χρήση των στερεών υπολειμμάτων του πυθμένα, την οποία υιοθετούν οι Δανοί, είναι η αξιοποίηση της στην οδοποιία σαν ασφαλτόμιγμα. Η εφαρμογή του κάθε σεναρίου εξαρτάται από τους τοπικούς κανονισμούς και τη νομοθεσία κάθε χώρας.^[8]

Ιπτάμενη Τέφρα

Η ιπτάμενη τέφρα αποτελεί επικίνδυνο απόβλητο, κυρίως λόγω της περιεκτικότητας της σε βαρέα μέταλλα, τα οποία χαρακτηρίζονται από μεγάλη πτητικότητα και διαλυτότητα και χρίζει κατάλληλης μεταχείρισης κατά τη διάθεση. Αποτελεί το 3 με 6% του φορτίου των απορριμμάτων και μπορεί να διακριθεί στην υπολειμματική τέφρα του συστήματος ανάκτησης ενέργειας και στην υπολειμματική τέφρα των συστημάτων ελέγχου της αέριας ρύπανσης.

Υπολειμματική τέφρα του συστήματος ανάκτησης ενέργειας

Κατά την καύση, τα πυκνότερα σωματίδια αναμιγνύονται με τα απαέρια και κατευθύνονται μέσα στο σύστημα του λέβητα. Εν συνεχεία, λόγω της μεταφοράς μάζας και θερμότητας, καθώς και λόγω της μείωσης της θερμοκρασίας, τα συμπυκνωμένα σωματίδια, κατακρημνίζονται και συλλέγονται σε ειδικούς υποδοχείς, τα οποία ακολούθως μεταφέρονται σε ειδικά σιλό και διαχειρίζονται ως επικίνδυνα απόβλητα. Στο σημείο αυτό πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία για αποφυγή φραξίματος, λόγω μεταφοράς θερμότητας, που αποτελεί κίνδυνο για τη σωστή λειτουργία του λέβητα. Το φαινόμενο αυτό αντιμετωπίζεται με έλεγχο της σωστής λειτουργίας του κλιβάνου, ενώ ο λέβητας πρέπει να καθαρίζεται και να συντηρείται μια φορά το χρόνο.^[8]

Υπολειμματική τέφρα των συστημάτων ελέγχου της αέριας ρύπανσης

Τα υπόλοιπα λεπτά σωματίδια κατευθύνονται προς τα συστήματα ελέγχου της αέριας ρύπανσης, όπου και κατακρατούνται. Κατά την αποκονίωση των φίλτρων, τα σωματίδια αυτά συγκεντρώνεται σε ειδικά σιλό και οδηγούνται προς διάθεση ως επικίνδυνο απόβλητο, σε κατάλληλους ΧΥΤΑ.^[8]

2.4.9 Εκμετάλλευση ενέργειας

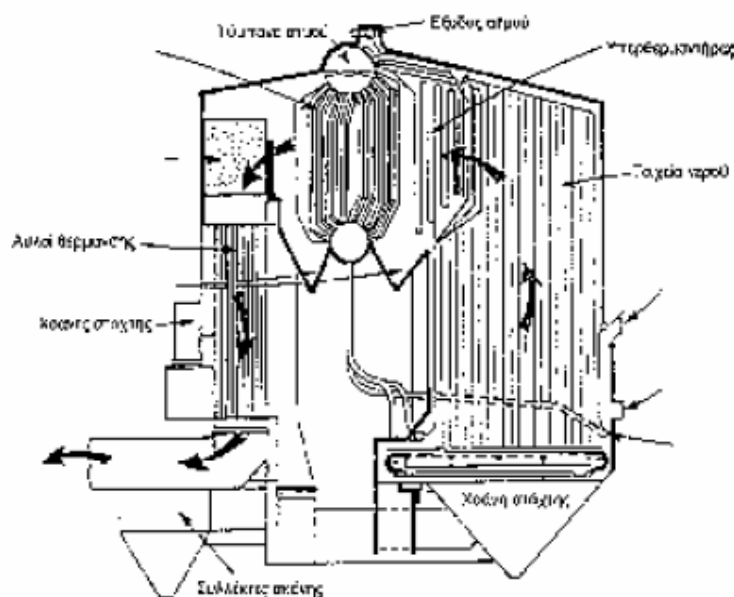
Στόχος της θερμικής επεξεργασίας είναι η αδρανοποίηση και καταστροφή των επικινδύνων ουσιών των απορριμμάτων που δεν είναι υλικά αξιοποιήσιμα. Η εκμετάλλευση της εκλυόμενης ενέργειας (ενέργειας που εμπεριέχεται στα απορρίμματα) βελτιώνει την οικονομικότητα της μεθόδου. Ο παραγόμενος ατμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη βιομηχανία, για παραγωγή ηλεκτρισμού και για (τηλε-)θέρμανση/ψύξη. Η βιομηχανική χρήση εξασφαλίζει μία σταθερή κατανάλωση όλο το χρόνο. Η ηλεκτροπαραγωγή αποτελεί επίσης έναν αξιόπιστο μακροχρόνιο καταναλωτή, με σημαντικό όμως μειονέκτημα τις μεγάλες απώλειες μετατροπής και απόβλητης θερμότητας (80%). Η τροφοδότηση δικτύων θέρμανσης εμφανίζει έντονη εποχιακή εξάρτηση και διακύμανση. Δυνατός (και τις περισσότερες φορές ενδεικνυόμενος) είναι συνδυασμός δύο ή και των τριών λύσεων (συμπαγωγή - πολυπαραγωγή), κάτι το οποίο προωθείται ισχυρά και σε Ευρωπαϊκό επίπεδο γενικότερα.

2.4.10 Λέβητας

Ο λέβητας είναι το σύστημα με το οποίο μεταδίδεται η ενεργειακή θερμότητα μιας καύσιμης ύλης σε ένα ενεργειακό φορέα. Από αυτόν ανακτάται το ενεργειακό περιεχόμενο της καύσιμης ύλης, μέσω παραγωγής ατμού και για το λόγο αυτό σήμερα χρησιμοποιείται και η λέξη "ατμοπαραγωγός". Η κατασκευή του φέρει εξωτερική επένδυση έτσι ώστε να επιτυγχάνεται στεγανοποίηση, αποφυγή εισροής αέρα και θερμομόνωση του. Επιπλέον, τα υλικά κατασκευής του πρέπει να είναι ανθεκτικά τόσο στις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο εσωτερικό όσο και στις μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές που παρατηρούνται ανάμεσα στο εσωτερικό και το εξωτερικό της κατασκευής. Επίσης, υφίσταται και δεύτερο εξωτερικό στρώμα μόνωσης για το οποίο δεν απαιτούνται ειδικές αντοχές σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες (πυρίμαχα τούβλα, υαλοβάμβακας κλπ).

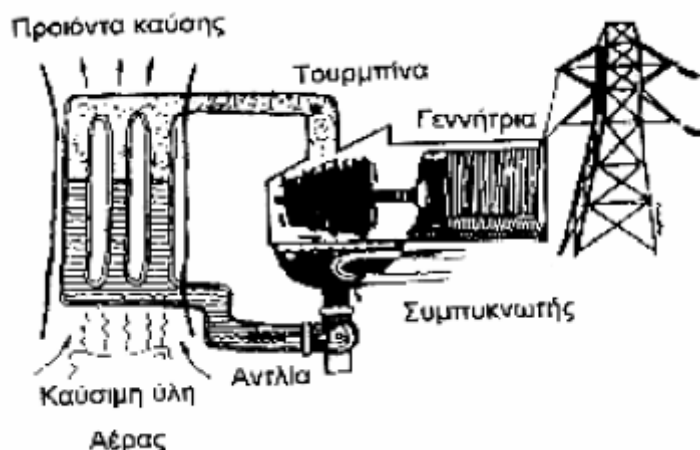
Στον ατμοπαραγωγό το νερό με προσαγωγή θερμότητας μετατρέπεται σε ατμό. Όταν το νερό στον λέβητα έχει την ίδια θερμοκρασία με τον ατμό τότε έχουμε τη θερμοκρασία κορεσμού. Έτσι κατά την διάρκεια της διαδικασίας η θερμοκρασία παραμένει σταθερή. Η αύξηση της θερμοκρασίας του ατμού επιτυγχάνεται με υπερθέρμανσή του. Στην περίπτωση που αυξάνεται η ενθαλπία του ατμού, λόγω της πρόσθετης θερμότητας τότε αυξάνεται και η θερμοκρασία του. Τα μεγέθη που χαρακτηρίζουν τους λέβητες είναι: η πίεση, η θερμοκρασία και η παραγωγή του ατμού, δηλαδή αυτό που εξέρχεται από τον λέβητα. Ο ατμός ή το νερό περιγράφεται από την ποιότητα και ποσότητα. Άλλα χαρακτηριστικά του λέβητα είναι η ειδική ατμοποίηση, η φόρτωση της εσχάρας, φόρτιση διατομής του φλογοθαλάμου, η ροή των αερίων στους αυλούς, η διάταξη των αυλών και τύμπανων, η εσωτερική κυκλοφορία του νερού κ.λ.π. Στο Σχήμα 2.17 παρουσιάζεται ένας μοντέρνος ατμοπαραγωγός..

Οι αγωγοί φέρουν ακροφύσια και έτσι δημιουργούνται ακτίνες με αέρα με αποτέλεσμα όλες οι δέσμες των απαερίων να διέρχονται απ' αυτές τις ζώνες και να έρχονται σε επαφή με τον αέρα. Τα απαέρια εμποδίζονται να φύγουν γρήγορα και αυξάνεται ο χρόνος παραμονής τους σε μια ζώνη που η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 950 - 1100°C. Στη δεύτερη διαδρομή βρίσκονται οι αυλοί του υπερθερμαντή και στην τρίτη διαδρομή το σύστημα εξάτμισης.



Σχήμα 2.17: Μοντέρνος ατμοπαραγωγός
Πηγή:[2]

Στο Σχήμα 2.18 παρουσιάζεται η σχηματική παράσταση μιας εγκατάστασης με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η καύση μετατρέπει το περιεχόμενο της ενέργειας των απορριμμάτων σε θερμότητα με την παραγωγή θερμών αερίων. Τα θερμά αέρια ψύχονται σε εναλλάκτες θερμότητας ($150 - 200^{\circ}\text{C}$) όπου η περιεκτικότητά τους σε θερμότητα μεταφέρεται σε νερό και αυτό σε ατμό. Η συνθήκες του παραγόμενου ατμού είναι 280°C θερμοκρασία και 25 kg/cm^2 πίεση. Ο ατμός εκτονώνεται από τα 33 στα 4.5 bar σε μια τουρμπίνα εκτόνωσης πίεσης και παράγεται μηχανική ενέργεια σε ένα ατμοστρόβιλο η οποία μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Θεωρητικά ο βαθμός ανάκτησης φθάνει το 80% και εξαρτάται από το σύστημα ανάκτησης που χρησιμοποιείται. Η παραγωγή του ατμού κυμαίνεται μεταξύ $1 - 4 \text{ kg/kg}$ απορρίμματα και υπολογίζεται στους 24 tn/hr . Οι θερμοκρασίες καθώς και οι ταχύτητες των αερίων αποτελούν βασικές παραμέτρους στον σχεδιασμό.



Σχήμα 2.18: Σχηματική παράσταση εγκατάστασης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Εναλλακτικές μέθοδοι ανάκτησης ενέργειας είναι:

- θέρμανση,
- ο συνδυασμός θέρμανσης και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η απόδοση του λέβητα μπορεί να φτάσει περίπου στο 80%. Αξιοσημείωτο είναι ότι η δυνατότητα ψύξης πρέπει να υπάρχει ακόμα και όταν δεν υπάρχει απαίτηση για ατμό.

Η ανάκτηση της θερμότητας περιορίζεται από την θερμοκρασία του νερού που επιστρέφει στο λέβητα.

Κατασκευαστικές παραλλαγές

Οι λέβητες μονάδων καύσης απορριμμάτων κατασκευάζονται κατά κανόνα ως λέβητες φυσικής κυκλοφορίας. Μπορεί να γίνουν οι ακόλουθες διακρίσεις:

Ανάλογα με το μέσο παραλαβής θερμότητας:

- λέβητας θερμού νερού,
- λέβητας κορεσμένου ατμού,
- λέβητας υπέρθερμου ατμού.

Ανάλογα με τη διάταξη των διαδρομών των καυσαερίων (μετάδοση θερμότητας με συναγωγή):

- λέβητας κατακόρυφων διαδρομών,
- λέβητας οριζοντίων διαδρομών.

Ανάλογα με τον αριθμό των διαδρομών των καυσαερίων:

- λέβητας 3 διαδρομών,
- λέβητας 4 διαδρομών,
- λέβητας 5 διαδρομών.

Ανάλογα με την αρχή κατασκευής:

- κρεμάμενος λέβητας,
- εδρασμένος λέβητας.

Ανάλογα με τον τρόπο οδήγησης των καυσαερίων:

- αεραλωτός,
- υδραλωτός (συνηθέστερος).

Ανάλογα με τη διεύθυνση περιροής των αυλών:

- οριζόντιος,
- κατακόρυφος.

Κριτήρια σχεδιασμού λεβήτων σε μονάδες καύσης

Στο σχεδιασμό και τη διαστασιολόγηση μονάδων καύσης απορριμμάτων πρέπει να θέτονται οι ακόλουθοι στόχοι:

- μεγάλοι χρόνοι διαδρομών καυσαερίων,
- μεγάλη διαθεσιμότητα μέσου παραλαβής θερμότητας,
- βαθμός απόδοσης λέβητα σταθερός στο χρόνο.

Για την εκπλήρωση των παραπάνω στόχων πρέπει να προσεχθούν τα εξής:

- χρόνος παραμονής των αερίων στο τμήμα ακτινοβολίας του λέβητα περίπου 10 sec, ώστε να εξασφαλισθεί πλήρης καύση των στερεών σωματιδίων,
- επαρκής ψύξη των καυσαερίων στο τμήμα ακτινοβολίας, ακόμη και στην περίπτωση πολλών επικαθήσεων στα τοιχώματα αυτού,
- χαμηλή ταχύτητα ροής των καυσαερίων κατά τη μετάβασή τους από το φλογοθάλαμο στο τμήμα ακτινοβολίας του λέβητα, ώστε να αποφεύγεται η συμπαραρροή στερεών σωματιδίων,
- επιτάχυνση των καυσαερίων, κατά τη μετάβασή τους από την 2^η στην 3^η διαδρομή (μέσω κατάλληλης στένωσης της διατομής ροής) στα 6 - 8 m/sec, ώστε να επιτυγχάνεται ένας πρώτος διαχωρισμός των στερεών σωματιδίων

(αποκονίωση) λόγω αδράνειας. Στην 3^η διαδρομή, η ταχύτητα ροής πέφτει πάλι στα 5 m/sec,

- τοποθέτηση εσωτερικών τοίχων σε περιοχές της 2^{ης} και 3^{ης} διαδρομής όπου ο λέβητας έχει πλάτος άνω των 5 m, προς αύξηση της θερμαντικής επιφάνειας και προς εσωτερική στήριξη των τοιχωμάτων του λέβητα,
- ρευστομηχανικά ομαλή μετάβαση από το τμήμα ακτινοβολίας στο τμήμα συναγωγής,
- μη τοποθέτηση υπερθερμαντήρα ακτινοβολίας στο φλογοθάλαμο,
- μείωση της θερμοκρασίας καυσαερίων οπωσδήποτε ως τους 650°C πριν από τον πρώτο υπερθερμαντήρα,
- χαμηλή ταχύτητα καυσαερίων στο τμήμα συναγωγής προς αποφυγή μηχανικής διάβρωσης των δεσμών σωλήνων,
- τοποθέτηση του πρώτου υπερθερμαντήρα σε ομορροή με τα καυσαέρια ώστε μέσω των σχετικά χαμηλών θερμοκρασιών των τοιχωμάτων να αποφεύγεται η διάβρωση των τελευταίων,
- δυνατότητα πλήρους εκκένωσης της εγκατάστασης από το νερό.
- επαρκής προσπελασιμότητα όλων των δεσμών σωλήνων (για επισκευές),
- εξωτερικός καθαρισμός των κρεμάμενων δεσμών σωλήνων με κρουστικά ή δονητικά συστήματα,
- εύκολα αποσυναρμολογήσιμη χοάνη τέφρας κάτω από το τμήμα συναγωγής.
- αεριοστεγανή κατασκευή λέβητα,
- ρύθμιση της θερμοκρασίας ατμού με ενδιάμεσο ψεκασμό νερού.

Σύγκριση μεταξύ λεβήτων οριζοντίων και κατακόρυφων διαδρομών

Αν και οι δύο παραλλαγές διαφέρουν εμφανέστατα, καμία από τις δύο δε μπορεί να θεωρηθεί ως ιδιαίτερα πλεονεκτούσα. Ο λέβητας οριζοντίων διαδρομών καυσαερίων εμφανίζεται πλεονεκτικότερος σε θέματα καθαρισμού των θερμαντικών επιφανειών και μπορεί να προκύψει 4 - 6 m χαμηλότερος από έναν λέβητα κατακόρυφων διαδρομών καυσαερίων της ίδιας ισχύος, εάν και το ύψος καθορίζεται κυρίως από το ύψος της 1^{ης} διαδρομής στην οποία δεν υπάρχει διαφορά. Ο λέβητας κατακόρυφων διαδρομών εμφανίζεται πλεονεκτικότερος στο κόστος κατασκευής, το οποίο παραταύτα διατηρείται στα ίδια επίπεδα για λόγους ανταγωνιστικότητας.

2.4.11 Κύκλωμα νερού-ατμού

Το κύκλωμα νερού-ατμού είναι εν γένει όμοιο με αυτό των θερμικών, ηλεκτρικών και θερμοηλεκτρικών σταθμών. Στην περίπτωση αποκλειστικής παραγωγής ηλεκτρισμού, εκλείπει πάντως η ενεργειακή βελτιστοποίηση μέσω της αναθέρμανσης του ατμού. Άλλα γνωρίσματα είναι οι σχετικά χαμηλές παράμετροι ατμού και η ύπαρξη εγκατάστασης συμπυκνωτήρα αέρα και μειωτήρα κυκλώματος υψηλής πίεσης για φάσεις λειτουργίας χωρίς παραγωγή ηλεκτρισμού.

Παράμετροι ατμού σε μονάδες καύσης

Τα απαέρια των μονάδων καύσης απορριμμάτων χαρακτηρίζονται από μία έντονη διαβρωτικότητα, η οποία αυξάνει με αύξηση της θερμοκρασίας των σωλήνων (αυλών). Εξαιτίας αυτού επιδιώκονται χαμηλές θερμοκρασίες στους σωλήνες και ως εκ τούτου χαμηλές παράμετροι ατμού (πίεση, θερμοκρασία), ώστε να περιορισθούν αστοχίες της εγκατάστασης εξαιτίας τρυπήματος των αυλών λόγω διάβρωσης. Η ηλεκτροπαραγωγή απαιτεί σχετικά υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις ατμού (500°C - αύξηση του χαμηλού βαθμού απόδοσης), και επιβάλλει συντήρηση κάθε 4000 - 5000 ώρες. Σε περίπτωση που τροφοδοτείται μόνον δίκτυο (τηλε-)θέρμανσης/ψύξης, είναι ενδεικνύμενος ο σχεδιασμός λέβητα κορεσμένου ατμού θερμοκρασίας ως 350°C και η συντήρηση μπορεί να γίνεται κάθε 7000-8000 ώρες.

Συμπυκνωτήρες αέρα

Στα σημεία που κατασκευάζονται οι μονάδες καύσης απορριμμάτων δεν υπάρχει συνήθως η δυνατότητα χρησιμοποίησης π.χ. κάποιου ποταμού για απαγωγή της θερμότητας από το συμπυκνωτήρα. Για το λόγο αυτό έχει καθιερωθεί η χρήση ξηρών συμπυκνωτήρων αέρα, η οποία μάλιστα οδηγεί και σε αποφυγή των σύννεφων ατμού που συνοδεύουν πάντοτε τη λειτουργία υγρών πύργων ψύξης. Στα μειονεκτήματα των συμπυκνωτήρων αέρα κατατάσσονται:

- η ηχορύπανση από τους ανεμιστήρες,
- η σχετικά υψηλή κατανάλωση ρεύματος των ανεμιστήρων (η απορροφούμενη ισχύς ανέρχεται στο 1.5 - 2% της ψυκτικής ισχύος).

Μειωτήρας κυκλώματος υψηλής πίεσης

Μία μονάδα καύσης απορριμμάτων πρέπει να μπορεί να διατηρείται σε λειτουργία ακόμη και σε περιπτώσεις ακινησίας του στροβίλου. Στην περίπτωση αυτή ο ατμός οδηγείται, αφού στραγγαλιστεί και ψυχθεί με πρόσδοση νερού, στο δοχείο συλλογής κορεσμένου ατμού και από εκεί στο συμπυκνωτήρα.

2.4.12 Προβλήματα διάβρωσης

Οι λέβητες των μονάδων καύσης απορριμμάτων απειλούνται κυρίως από χημική και κατά δεύτερο λόγο από μηχανική διάβρωση, κάτι που έχει οδηγήσει σε συχνές απογραμμάτιστες διακοπές λειτουργίας, ιδίως σε παλαιότερες μονάδες.

2.5 Τα Προϊόντα της Καύσης

Τα προϊόντα της διαδικασίας αποτέφρωσης είναι τα ακόλουθα :

- απαέρια (με υδρατμούς) που μετά τον καθαρισμό τους είναι κατάλληλα για διάθεση στην ατμόσφαιρα,
- ανόργανη τέφρα από την οποία με περαιτέρω επεξεργασία μπορεί να γίνει ανάκτηση υλικών. Το σκραπ που είναι δυνατόν να ανακτηθεί είναι περίπου το 2,5% της ποσότητας των τροφοδοτούμενων απορριμμάτων. Η τελικά προκύπτουσα τέφρα χρησιμοποιείται ως αδρανές υλικό για δομικές χρήσεις, όπως για παράδειγμα στην οδοποιία, τσιμεντοβιομηχανία, είτε οδεύει προς υγειονομική ταφή,
- υγρό απόβλητο αποτέλεσμα των διαδικασιών σβέσης της τέφρας και ψύξης των αερίων και
- θερμότητα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ατμού ή ηλεκτρικής ενέργειας.

2.5.1 Κυριότεροι Ρύποι

Οι σχετικοί με την αποτέφρωση αέριοι ρύποι περιλαμβάνουν τα εξαερώσιμα λόγω της θερμότητας στερεά ή άλλες ενώσεις που δημιουργούνται μέσω των χημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της καύσης. Οι κυριότεροι αέριοι ρύποι μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής:

Προϊόντα ατελούς καύσης (PICs): Τα προϊόντα αυτά περιλαμβάνουν ενώσεις όπως μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογονάνθρακες που δεν έχουν καεί, πτητικές οργανικές ενώσεις και πολυκυκλικές οργανικές ενώσεις όπως οι διοξίνες και οι

φουράνες. Η εκπομπή των ενώσεων αυτών είναι αποτέλεσμα της ατελούς καύσης του άνθρακα των προς καύση στερεών και της βοηθητικής καύσιμης ύλης λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας και/ή της ανεπάρκειας του αέρα κατά τη διάρκεια της καύσης. Το μονοξείδιο του άνθρακα μπορεί να απορροφηθεί από το ανθρώπινο αίμα και εμποδίζει την πρόσληψη του οξυγόνου. Σημαντικά υψηλές ποσότητες μπορούν να προκαλέσουν ακόμα και το θάνατο. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι με εξαίρεση τις διοξίνες (PCDD) και τις φουράνες (PCDF), όρια ελέγχου για τις εκπομπές μεμονωμένων οργανικών ενώσεων δεν υπάρχουν. Αντ'αυτού έχουν θεσπιστεί όρια για τη συνολική συγκέντρωση της οργανικής ύλης στις εκπομπές, σε όρους ολικού οργανικού άνθρακα (TOC) ή πτητικού οργανικού άνθρακα(VOC). Το κυριότερο συστατικό του ολικού οργανικού άνθρακα των αερίων (στις καπνοδόχους) είναι αλειφατικές ενώσεις, οι οποίες είναι απίθανο να θέσουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία. Οι πτητικές οργανικές ενώσεις είναι υπεύθυνες για τη δημιουργία όζοντος κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Ωστόσο, από τις συνολικές ανθρωπογενείς εκπομπές αυτού του είδους των ενώσεων μόνο ένα αμελητέο ποσοστό οφείλεται στην αποτέφρωση, περίπου το ένα δέκατο σε σχέση με τις χωματερές. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ανησυχίες έχουν εκφραστεί λόγω του εντοπισμού αρκετών εκατοντάδων αρωματικών ενώσεων οι οποίες είναι δυνητικά τοξικές. Πάντως διάφορες έρευνες καρκινογένειας έχουν δείξει ότι με εξαίρεση τις διοξίνες και τις φουράνες, οι υπόλοιπες οργανικές ενώσεις συμβάλλουν κατά πολύ λίγο στο σύνολο των δυνητικών κινδύνων μιας μονάδας καύσης. Οι διοξίνες και οι φουράνες (πολυχλωριωμένες διβενζινο-παρα-διοξίνες και πολυχλωριωμένες διβεντο-φουράνες) δημιουργούνται ως υπολειμματικά παραπροϊόντα κατά τη διάρκεια καύσης υπό υψηλές θερμοκρασίες υλικών που περιέχουν χλώριο και οργανικές ενώσεις, συμπεριλαμβανομένης στην κατηγορία αυτή και της ιλύος. Μπορούν επίσης να ανιχνευτούν στις εκπομπές αυτοκινήτων, σταθμών ενέργειας, πυρκαγιών και κατά την τήξη υπολειμματικών μετάλλων. Επίσης δημιουργούνται κατά τη παραγωγή φυτοφαρμάκων και συντηρητικών ξύλου. Σε χώρες με σημαντική βιομηχανική ανάπτυξη τα επίπεδα των διοξινών και των φουρανών σε αστικές περιοχές είναι περίπου 4 φορές υψηλότερα από αυτά της υπαίθρου. Η καύση των απορριμμάτων και ιλύων μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στην απελευθέρωση τέτοιων ενώσεων. Στη Βρετανία υπολογίσθηκε ότι το 1989 περίπου το 20% της ολικής ανθρωπογενούς αποδέσμευσης διοξινών και φουρανών, είχε σχέση με καυστήρες. Παρά ταύτα θα

πρέπει να επισημανθεί ότι η σημαντική αυτή συμβολή είναι κυρίως αποτέλεσμα της χρήσης συστημάτων καύσης παλαιάς τεχνολογίας χωρίς να λαμβάνονται ιδιαίτερα μέτρα ως προς τις εκπομπές. Η υιοθέτηση των σύγχρονων συστημάτων με παράλληλη συμμόρφωση με τα ισχύοντα αυστηρά όρια εκπομπών, μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών κατά 95% ή και περισσότερο.

Οι διοξίνες και οι φουράνες είναι σταθερές και διασπώνται πολύ αργά στο περιβάλλον. Από τον άνθρωπο μπορούν να προσληφθούν μέσω της αναπνοής ή της απορρόφησης από το δέρμα αλλά μόνο σε περιπτώσεις που εκλύονται σε πολύ μικρή απόσταση από τους αποδέκτες. Η παρουσία των διοξινών και των φουρανών σε συγκεντρώσεις υποβάθρου στον ανθρώπινο οργανισμό οφείλεται σχεδόν εξ'ολοκλήρου στην εισαγωγή τους μέσω των τροφών. Τόσο οι πτητικές όσο και οι δεσμευμένες σε σωματίδια διοξίνες και φουράνες αποτίθενται σε φυτά που χρησιμεύουν για βοσκή (μέσω των οποίων μπορούν να εισέλθουν στο κρέας ή στα γαλακτοκομικά προϊόντα), καθώς και στα φρούτα και τα λαχανικά που προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο. Όταν εναποτίθενται στο έδαφος, δεσμεύονται από τα σωματίδια του εδάφους και δεν εισέρχονται άμεσα στην τροφική αλυσίδα. Στο ανθρώπινο σώμα οι διοξίνες και οι φουράνες είναι λιποδιαλυτές και παραμένουν για μεγάλες περιόδους, ειδικά στο σπλάχν και στους λιπαρούς ιστούς.

Οι εκτιμήσεις της τοξικότητας των διοξινών και των φουρανών στον άνθρωπο, βασίζονται σε ευρήματα από έρευνες με πειραματόζωα και από ορισμένες περιπτώσεις ατυχημάτων ή έκθεσης συγκεκριμένων κατηγοριών εργαζομένων. Για τα ζώα, οι διοξίνες και οι φουράνες είναι γνωστό ότι είναι καρκινογόνες επιδρώντας στην ανάπτυξη των κυττάρων καθώς και την μετάλλαξή τους, αν και φαίνεται ότι περισσότερο ενισχύουν υπάρχοντες όγκους παρά δημιουργούν νέους. Είναι ακόμη αποδεδειγμένο ότι μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την αναπαραγωγή και το ανοσοποιητικό σύστημα των πειραματόζωων. Οι περισσότερες από τις εργαστηριακές έρευνες που αφορούν ανθρώπινη έκθεση σε διοξίνες και φουράνες κατέληξαν σε αποτελέσματα τα οποία πολύ δύσκολα μπορούν να ερμηνευτούν λόγω του ότι οι επιπτώσεις έκθεσης αφορούσαν μίγματα που περιείχαν και άλλες χημικές ενώσεις. Έχει πάντως υποστηριχθεί ότι η έκθεση σε διοξίνες και φουράνες μπορεί να έχει σχέση με την ανάπτυξη σαρκωμάτων των μαλακών-ιστών. Οι πρόσφατες έρευνες τείνουν να δείξουν ότι η τοξικότητα των διοξινών και των φουρανών στον άνθρωπο ίσως δεν είναι τόσο υψηλή όσο κατά καιρούς έχει υποστηριχθεί. Ωστόσο, η Διεθνής

Επιτροπή για την Έρευνα του Καρκίνου συναξιολογώντας τα ερευνητικά ευρήματα έχει κατατάξει την πιο τοξική διοξίνη (2,3,7,8-TCDD) στις πιθανές καρκινογόνες για τον άνθρωπο ουσίες. Πάντως, οι συγκεντρώσεις που δημιουργούνται από τις εκπομπές των μονάδων αποτέφρωσης δεν φαίνεται ότι πρέπει να εμπνέουν ανησυχία. Η περαιτέρω δε μείωση των εκπεμπομένων ποσοτήτων με τις μονάδες τελευταίας τεχνολογίας, που περιλαμβάνουν και κατάλληλα συστήματα επεξεργασίας των αερίων, θα δημιουργήσει ακόμα μεγαλύτερα περιθώρια ασφαλείας. Οξείδια του Αζώτου NO_x : Τα οξείδια του αζώτου μπορούν να βρεθούν σε πολλές μορφές, με το άτομο του αζώτου να αντιδρά με ένα, δύο ή και περισσότερα άτομα οξυγόνου. Οι εκπομπές NO_x είναι αποτέλεσμα δύο κυρίως αντιδράσεων καύσης. Κατά τη διάρκεια της καύσης υπό υψηλές θερμοκρασίες, το άζωτο της ιλύος ή των ΑΣΑ μπορεί να αντιδράσει με περίσσεια οξυγόνου και να δημιουργήσει NO_x .

Επιπρόσθετα, οξείδια του αζώτου δημιουργούνται μέσω του ατμοσφαιρικού αζώτου το οποίο αντιδρά με περίσσεια οξυγόνου σε υψηλές θερμοκρασίες, γενικά υψηλότερες από 1100°C . Η πιο επιβλαβής συνέπεια των NO_x είναι η δημιουργία αερίων οξέων στην ατμόσφαιρα όταν τα αέρια αντιδρούν με την υγρασία. Επίσης αποτελούν παράγοντα που συντελεί στη δημιουργία του νέφους. Αέρια Οξέα: Το διοξείδιο του θείου δημιουργείται κατά την καύση μέσω οξείδωσης του υπολειμματικού θείου που βρίσκεται στα ΑΣΑ ή την ιλύ. Το διοξείδιο του θείου στη συνέχεια αντιδρά με την υγρασία και δίνει θειικό οξύ. Οι εκπομπές από τις μονάδες αποτέφρωσης αποτελούν ένα μικρό μόνο ποσοστό των συνολικών εκπομπών από διαδικασίες καύσης. Το υδροχλωρικό οξύ δημιουργείται κατά την καύση λόγω του χλωρίου των στερεών απορριμμάτων. Πρόσθετα όξινα αέρια δημιουργούνται σε μικρότερες ποσότητες συμπεριλαμβανομένων του υδροφθορικού και του υδροβρωμικού οξέος. Ως προς την ανθρώπινη υγεία, μπορούν να προκαλέσουν ερεθισμό του αναπνευστικού συστήματος, ειδικά δε σε ευπαθείς ομάδες πληθυσμού, όπως είναι οι υποφέροντες από άσθμα.

Βαρέα Μέταλλα: Οι εκπομπές μετάλλων αποτελούν ένα μέρος των συνολικών σωματιδιακών εκπομπών από τους αποτεφρωτές. Πηγή των μετάλλων είναι η τέφρα. Ανάλογα με το είδος του μετάλλου και την πίεση των ατμών του, τα μέταλλα μπορούν να φύγουν από τον αποτεφρωτή είτε σε αέρια είτε σε στερεά μορφή. Ο υδράργυρος και σε μικρότερο βαθμό το κάδμιο, απελευθερώνονται κυρίως στην αέρια φάση. Η διαδικασία της καύσης καθιστά ορισμένα μέταλλα βιολογικά

περισσότερο ενεργά. Για παράδειγμα μετατρέπει ένα μέρος του καδμίου σε μορφή διαλυτών χλωριούχων και θεικών αλάτων και το μεγαλύτερο μέρος του χρωμίου στην εξασθενή του μορφή, με την οποία είναι καρκινογόνο.

Η κύρια οδός για την έκθεση του ανθρώπινου οργανισμού στα βαρέα μέταλλα που απελευθερώνονται μέσω της αποτέφρωσης είναι η τροφική αλυσίδα. Ο υδράργυρος εναποτίθεται στην επιφάνεια του νερού και του εδάφους. Η εκπομπή του καδμίου στον αέρα γίνεται σε σωματιδιακή μορφή. Μετά την απόθεσή του στο έδαφος μπορεί α διοχετευθεί στα λαχανικά και στους καρπούς. Οι αναφερθείσες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, έχουν παρατηρηθεί σε περιπτώσεις που σχετίζονται είτε με υψηλή ή με χρόνια έκθεση σε σωματιδιακό μέταλλο. Πολύ λιγότερα γνωστό είναι εάν οι μικρότερες δόσεις μπορούν να έχουν κάποια συγκεκριμένα αποτελέσματα. Παρότι οι εκπομπές βαρέων μετάλλων από τις μονάδες αποτέφρωσης δεν είναι απόλυτα συνδεδεμένες με τις αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, αναλύσεις επικινδυνότητας έχουν δείξει ότι γενικώς ο κίνδυνος από τα μέταλλα των αποτεφρωτών είναι υψηλότερος από τον κίνδυνο λόγω των οργανικών ενώσεων. Παρά την απουσία άμεσων αποδείξεων για τις συνέπειες της εκπομπής βαρέων μετάλλων από τους αποτεφρωτές στην υγεία, επικρατεί μία γενική πολιτική μείωσης των εκθέσεων σε βαρέα μέταλλα, όπως αντικατοπτρίζεται και στην αυστηρή ισχύουσα νομοθεσία σχετικά με τις εκπομπές μετάλλων από τις μονάδες αποτέφρωσης.

Σωματίδια: Η ρύπανση λόγω σωματιδίων οφείλεται στα στερεά τα οποία αποβάλλονται από τους αποτεφρωτές. Ένα ποσοστό της τέφρας, ή και ολόκληρη στην περίπτωση των καυστήρων ρευστοποιημένης κλίνης, φεύγει από το φούρνο ως ιπτάμενη τέφρα. Η ρευστοποιημένη σωματιδιακή ύλη μπορεί να προκαλέσει αφενός προβλήματα στην αναπνοή, αφετέρου δε μειωμένη ορατότητα. Ακόμα και στους παλαιούς αποτεφρωτές, των δεκαετιών του 1960 και του 1970 υπήρχε μέριμνα για τη λήψη βασικών τουλάχιστον μέτρων για την μείωση της εκπομπής σωματιδίων. Η σύγχρονη νομοθεσία χαρακτηρίζεται από πολύ αυστηρότερα μέτρα στον τομέα αυτόν, επιπρόσθετα δε επιβάλλει τη λήψη μέτρων και για άλλους από τους προαναφερθέντες αέριους ρύπους.

2.6 Νομοθεσία

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι εγκαταστάσεις καύσης που κατασκευάστηκαν τις δεκαετίες '60 και '70, ήταν υποχρεωμένες να τηρούν μόνο μερικά βασικά όρια εκπομπών, συνήθως ως προς τη σκόνη. Στις περισσότερες δε χώρες η καύση εθεωρείτο περιβαλλοντικά αποδεκτή αν και ιδιαίτερα ακριβή λύση. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '80, η συνεχώς αυξανόμενη ευαισθητοποίηση του κοινού σε περιβαλλοντικά θέματα, οδήγησε στην αναθεώρηση της περιβαλλοντικής πολιτικής τα θέματα της καύσης.

Στην Ευρώπη η Γερμανία θεωρείται γενικώς από τις υπόλοιπες χώρες ως καθοριστική κινητήρια δύναμη για την διαμόρφωση των οδηγιών της ΕΕ που αφορούν την ελαχιστοποίηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Έτσι γίνεται μία ανασκόπηση των πρόσφατων (της τελευταίας δεκαετίας) Ευρωπαϊκών Νομοθεσιών σε συσχέτιση με τις αντίστοιχες Γερμανικές.

Η οδηγία της Επιτροπής της ΕΕ για την πρόληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από βιομηχανικές μονάδες (84/360/ΕΕΕ, του 1984), γνωστή και ως “Οδηγία Πλαίσιο”, αποσκοπούσε στην εξομάλυνση της ασυμβατότητας των διαφόρων εθνικών νομοθεσιών που σχετίζονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση από βιομηχανικές μονάδες. Σύμφωνα με την οδηγία, μονάδες συγκεκριμένων κατηγοριών, συμπεριλαμβανομένων και των μονάδων καύσης, πρέπει να εγκρίνονται από τις αρμόδιες αρχές στο στάδιο του σχεδιασμού. Η έγκριση προϋποθέτει περιγραφή της μονάδας που να παρέχει όλες τις απαραίτητες για τις αρχές πληροφορίες ώστε να τεκμηριώνεται η πρόβλεψη όλων των απαιτούμενων προληπτικών μέτρων ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με χρήση της καλύτερης δυνατής διαθέσιμης τεχνολογίας που δεν συνεπάγεται υπερβολική αύξηση του κόστους. Η έγκριση προϋποθέτει επιπρόσθετα ότι η μονάδα δε θα προκαλεί ατμοσφαιρική ρύπανση, ιδιαίτερα μέσω της εκπομπής συγκεκριμένων ρύπων όπως τα SO₂, NO_x, CO, υδρογονάνθρακες, βαρέα μέταλλα, σκόνη, χλώριο, φθόριο και ενώσεις τους.

Η Οδηγία Πλαίσιο προέβλεπε την έκδοση μεταγενέστερων επιμέρους “θυγατρικών” οδηγιών για τη θέσπιση απαιτήσεων και ορίων εκπομπών για συγκεκριμένους τύπους εγκαταστάσεων. Την ίδια περίπου χρονική περίοδο η σχετική νομοθεσία στη Γερμανία καλύπτεται από μία Οδηγία, η οποία, στην αναθεωρημένη της μορφή του 1986, είναι γνωστή ως Τεχνική Οδηγία για τον Έλεγχο της Ποιότητας του Αέρα (TA Luft). Μία από τις βασικές αρχές της Οδηγίας, η αρχή της προφύλαξης (Vorsorgeprinzip), εφαρμόζεται με τη θέσπιση οριακών τιμών σε ορισμένες

καθοριστικές λειτουργικές συνθήκες της διαδικασίας καύσης και στις συγκεντρώσεις καθορισμένων ρύπων στα αέρια που εκπέμπονται από τις υψικαμίνους στην ατμόσφαιρα. Οι οριακές αυτές τιμές έχουν το γνώρισμα να θεωρούνται ως οι επιτεύξιμες πραγματοποιήσιμο χρησιμοποιώντας την καλύτερη διαθέσιμη τεχνολογία της εποχής. Σε ό,τι αφορά τις λειτουργικές συνθήκες, απαιτείται η διατήρηση ελάχιστης θερμοκρασίας απαερίων της τάξης των 850°C και ποσοστού οξυγόνου περί το 6%, έτσι ώστε οι εκπομπές προϊόντων ατελούς καύσης να ελαχιστοποιούνται.

Το κριτήριο της θερμοκρασίας των απαερίων είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την επιλογή της διαδικασίας καύσης. Ενώ θερμοκρασίες απαερίων της τάξης των 800-900°C μπορούν σχετικά εύκολα να επιτευχθούν χρησιμοποιώντας τεχνολογία ρευστοποιημένης κλίνης, το ίδιο δεν συμβαίνει με τους συμβατικούς καυστήρες πολλαπλών εστιών από τους οποίους τα απαέρια εξέρχονται με χαμηλότερες θερμοκρασίες, τυπικά γύρω στους 320-500°C. Η θερμοκρασία των απαερίων μπορεί και στην περίπτωση αυτή να αυξηθεί στα απαιτούμενα επίπεδα μέσω δευτερογενούς μετα-καύσης, ωστόσο όχι χωρίς μία πολύ σημαντική πρόσθετη κατανάλωση καυσίμου. Είναι προφανές κατά συνέπεια ότι με τα κριτήρια εκπομπών για προϊόντα ατελούς καύσης που θεσπίστηκαν από την TA Luft, δίνουν σαφές πλεονέκτημα στα συστήματα ρευστοποιημένων κλινών έναντι των τεχνολογιών καυστήρων πολλαπλών εστιών.

Η TA Luft Οδηγία αποτέλεσε τη βάση για αρκετές Ευρωπαϊκές εθνικές νομοθεσίες που αφορούν την καύση, κατά το δεύτερο μισό της δεκαετίας του '80 (Ολλανδία, Ελβετία κ.τ.λ.), καθώς μάλιστα υπήρχε έλλειψη σχετικής νομοθεσίας σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης. Σε συνέχεια της από το 1984 "Οδηγίας Πλαισίου" της ΕΕ, μία νέα οδηγία της ΕΕ "για την πρόληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από νέες μονάδες καύσης αστικών αποβλήτων" εκδόθηκε το 1989 (89/369/ΕΕ). Επιπρόσθετα, μία πρόταση οδηγίας "για την καύση επικινδύνων αποβλήτων" εκδόθηκε το 1992 (92/130/01). Τα κριτήρια εκπομπής της οδηγίας (για μεγάλες μονάδες) και της πρότασης παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 2.1: Όρια εκπομπών από μονάδες καύσης ΑΣΑ

| Παράμετρος (mg/Nm ³) | Γερμανία TA/LUFT (1986) | Ελβετία | ΕΕ (89/369/EEC) (στερεά απόβλητα) | ΕΕ για τοξικά απόβλητα (1992) | Βρετανία HMIP, IPR5/3 (1992) | Γερμανία 1.7 Blm Schv (1190) |
|---------------------------------------|-------------------------------|---------|--|--|---------------------------------------|------------------------------------|
| Ολικά Σωματίδια Στερεά | 30 | 50 | 30 | 5 | 20 | 10 |
| Μονοξείδιο του άνθρακα | 100 | | 100 | 50 | 100 | 50 |
| VOC | 20 (TOC) | | 20 | 5 | 20 | 10 |
| Διοξείδιο του θείου | 100 | 500 | 300 | 25 | 300 | 50 |
| Υδροχλωριο | 50 | 30 | 50 | 5 | 30 | 10 |
| Υδροφθόριο | 2 | 5 | | 1 | 2 | 1 |
| Οξείδια του αζώτου (NO _x) | 500 | 1300 | | - | 650 | 200 |
| Κάδμιο | | | | | 0.1 | |
| Κάδμιο και Θάλιο | | | | 0.05 | | 0.05 |
| Κάδμιο και Υδράργυρος | 0.2 | 0.2 | | | | |
| Υδράργυρος | | | | 0.05 | 0.1 | 0.05 |
| Νικέλιο και Αρσενικό | 1 | 1* | | | | |
| Άλλα Βαρέα Μέταλλα | 5 | 5 | | 0.5 | 1 | 0.5 |
| Διοξίνες | | | | 0.0001 | 0.001** | 0.0001 |

* Νικέλιο + Αρσενικό + Χρώμιο + Κοβάλτιο + Σελίνιο + Τελούριο

** Κατά το δυνατόν μεγαλύτερη απομάκρυνση μέσω προοδευτικής εφαρμογής τεχνολογίας με στόχο την τιμή 0.0001mg/Nm³

Οδηγία 2000/76/ΕΚ περί της αποτέφρωσης των αποβλήτων

Η Οδηγία 2000/76/ΕΚ, που αφορά στην αποτέφρωση των αποβλήτων εξεδόθη από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο, αφού ελήφθησαν υπόψη κυρίως τα ακόλουθα:

- Το πέμπτο πρόγραμμα δράσης για το περιβάλλον «Στόχος η αειφορία» — πρόγραμμα της Ευρωπαϊκής Κοινότητας σχετικά με την πολιτική και τη δράση για το περιβάλλον και τη βιώσιμη ανάπτυξη.
- Το πρωτόκολλο για τους έμμενους οργανικούς ρύπους, το οποίο έχει υπογράψει η Κοινότητα στο πλαίσιο της Σύμβασης της Οικονομικής Επιτροπής για την Ευρώπη των Ηνωμένων Εθνών (ΟΕΕ-ΟΗΕ) για τη διαμεθοριακή ατμοσφαιρική ρύπανση σε μεγάλη απόσταση
- Την κοινοτική στρατηγική για τη διαχείριση των αποβλήτων, η οποία αποδίδει κατ' αρχάς προτεραιότητα στην πρόληψη της δημιουργίας αποβλήτων, στη συνέχεια, στην επαναχρησιμοποίηση και την ανάκτηση, τέλος δε στην ασφαλή διάθεση των ποβλήτων.
- Την ανακοίνωση της Επιτροπής με τίτλο «Ενέργεια για το μέλλον: ανανεώσιμες πηγές ενέργειας· Λευκή Βίβλος για κοινοτική στρατηγική και πρόγραμμα δράσης», η οποία λαμβάνει ιδίως υπόψη τη χρήση της βιομάζας για ενεργειακούς σκοπούς.
- Την Οδηγία 96/61/ΕΚ του Συμβουλίου, η οποία ορίζει μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης, κατά την οποία εξετάζονται σφαιρικά όλες οι συνιστώσες των περιβαλλοντικών επιδόσεων των εγκαταστάσεων.
- Την ανάγκη ύπαρξης ενός ενιαίου κειμένου για την αποτέφρωση των αποβλήτων, το οποίο θα βελτιώσει τη νομική σαφήνεια και τη δυνατότητα εφαρμογής.
- Το άρθρο 4 της οδηγίας 75/442/ΕΟΚ του Συμβουλίου, της 15ης Ιουλίου 1975, περί των στερεών αποβλήτων, σύμφωνα με το οποίο τα κράτη μέλη πρέπει να λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα για να εξασφαλίζουν ότι η αξιοποίηση ή η διάθεση των αποβλήτων πραγματοποιείται χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο η υγεία του ανθρώπου και χωρίς να βλάπτεται το περιβάλλον.

Ο σκοπός της παρούσας οδηγίας είναι η πρόληψη ή ο περιορισμός, όσο είναι εφικτός, των αρνητικών επιδράσεων της αποτέφρωσης και της συναποτέφρωσης

αποβλήτων στο περιβάλλον, ειδικότερα δε, της ρύπανσης δια των εκπομπών στον ατμοσφαιρικό αέρα, το έδαφος και τα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα, καθώς και των συνακόλουθων κινδύνων για την υγεία του ανθρώπου. Ο σκοπός αυτός επιτυγχάνεται με την επιβολή αυστηρών συνθηκών λειτουργίας και τεχνικών απαιτήσεων και τη θέσπιση οριακών τιμών εκπομπών για τις μονάδες αποτέφρωσης και συναποτέφρωσης αποβλήτων εντός της Κοινότητας, καθώς επίσης με την τήρηση των απαιτήσεων της οδηγίας 75/442/ΕΟΚ.

Η παρούσα Οδηγία καλύπτει τις μονάδες αποτέφρωσης και συναποτέφρωσης. Στο άρθρο 3 δίνονται οι απαιτούμενοι ορισμοί των παρακάτω εννοιών :

- απόβλητα,
- επικίνδυνα απόβλητα,
- μεικτά αστικά απόβλητα,
- μονάδα αποτέφρωσης,
- μονάδα συναποτέφρωσης,
- υφιστάμενη μονάδα αποτέφρωσης ή συναποτέφρωσης,
- ονομαστική δυναμικότητα,
- εκπομπές,
- οριακές τιμές εκπομπών,
- διοξίνες και φουράνια,
- φορέας εκμετάλλευσης,
- άδεια και
- υπολείμματα.

Επίσης, στην Οδηγία καθορίζονται:

- οι απαιτούμενες λεπτομέρειες για τη διαδικασία υποβολής αίτησης και την χορήγηση αδείας, για την κατασκευή μονάδας αποτέφρωσης απορριμμάτων (άρθρο 4).
- οι απαραίτητες προφυλάξεις κατά την παράδοση και την παραλαβή των αποβλήτων, για την πρόληψη ή τον περιορισμό των αρνητικών επιδράσεων στο περιβάλλον. (άρθρο 5),
- οι συνθήκες λειτουργίας. Οι μονάδες αποτέφρωσης λειτουργούν κατά τρόπο που διασφαλίζει βαθμό αποτέφρωσης τέτοιον ώστε οι ατμοσφαιρικές εκπομπές τους να μην προκαλούν σημαντική ατμοσφαιρική ρύπανση στην επιφάνεια του εδάφους. (άρθρο 6),

- οι οριακές τιμές ατμοσφαιρικών ρύπων. Τα καυσαέρια των μονάδων δεν πρέπει να υπερβαίνουν τις τιμές που καθορίζονται στο παράρτημα V (άρθρο 7),
- η διαδικασία απόρριψης των υδάτων που προέρχονται από τον καθαρισμό των καυσαερίων, οι οριακές τιμές των οποίων δίνονται στο παράρτημα IV (άρθρο 8),
- η διαχείριση των υπολειμμάτων (άρθρο 9),
- η διαδικασία ελέγχου και παρακολούθησης της εγκατάστασης (άρθρο 10),
- οι μετρήσεις ατμοσφαιρικών ρύπων που απαιτούνται. Οι τεχνικές που ακολουθούνται για την πραγματοποίησή τους δίνονται στο παράρτημα III (άρθρο 11),
- οι τρόποι πρόσβασης στην πληροφόρηση και συμμετοχή του κοινού (άρθρο 12),
- η αντιμετώπιση ασυνήθων συνθηκών λειτουργίας (άρθρο 13),
- οι περιπτώσεις επανεξέτασης (άρθρο 14),
- η διαδικασία υποβολής εκθέσεων (άρθρο 15),
- οι τρόποι μελλοντικής αναπροσαρμογής της Οδηγίας (άρθρο 16),
- η σύσταση κανονιστικής επιτροπής (άρθρο 17),
- οι παλαιότερες οδηγίες που καταργούνται (άρθρο 18),
- οι κυρώσεις (άρθρο 19),
- οι μεταβατικές διατάξεις (άρθρο 20),
- ο τρόπος υλοποίησης της Οδηγίας (άρθρο 21),
- η έναρξη ισχύος (άρθρο 22) και
- οι αποδέκτες της Οδηγίας (άρθρο 23).
- τέλος, η εν λόγω Οδηγία ολοκληρώνεται με τέσσερα παραρτήματα, το περιεχόμενο των οποίων φαίνεται περιληπτικά παρακάτω:

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I :

Στο Παράρτημα I, δίνονται οι συντελεστές ισοδυναμίας για τις διβενζο-p-διοξίνες και τα διβενζοφουράνια, με τη βοήθεια των οποίων προσδιορίζεται η συνολική συγκέντρωση διοξινών και φουρανίων στα εκπεμπόμενα αέρια κατά την καύση των στερεών αποβλήτων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II :

Στο Παράρτημα II, δίνεται ο τρόπος προσδιορισμού των οριακών τιμών εκπομπών στον αέρα για την συναποτέφρωση αποβλήτων, καθώς και ειδικές διατάξεις για ειδικές κατηγορίες.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III :

Το Παράρτημα αυτό αφορά στις τεχνικές των μετρήσεων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV :

Στο Παράρτημα IV καθορίζονται οι οριακές τιμές εκπομπών για τις απορρίψεις λυμάτων προερχόμενων από τον καθαρισμό των καυσαερίων της αποτέφρωσης αποβλήτων.

2.6.1 Έλεγχος εκπομπών

Για τον πλήρη έλεγχο των εκπομπών απαιτείται διενέργεια δειγματοληψιών και αναλύσεων για προσδιορισμό της σύστασης των:

- εισερχομένων στερεών αποβλήτων
- παραγόμενων στερεών (υπολείμματα - ιπτάμενη τέφρα)
- παραγόμενων αερίων
- υγρών αποβλήτων που παράγονται κατά την επεξεργασία των καυσαερίων

Οι δειγματοληψίες για τα εισερχόμενα στερεά (δημοτικά απόβλητα ή RDF) πραγματοποιούνται στο σύστημα τροφοδοσίας της εγκατάστασης, με λήψη δείγματος το οποίο ομογενοποιείται και αναλύεται.

Οι δειγματοληψίες των υπολειμμάτων και της ιπτάμενης τέφρας πραγματοποιούνται στο σύστημα των εσχάρων, των θερμαντικών επιφανειών και στο σύστημα μεταφοράς των υπολειμμάτων.

Οι δειγματοληψίες των υγρών αποβλήτων και των αερίων πραγματοποιούνται στα σημεία απόρριψης και εκπομπής τους, αντίστοιχα.

Απαιτήσεις για τις μετρήσεις

Εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων

Στις μονάδες αποτέφρωσης εκτελούνται οι παρακάτω μετρήσεις ατμοσφαιρικών ρύπων:

- i. Συνεχείς μετρήσεις των: NO_x, CO, ολικός κονιορτός, TOC, HCl, HF, SO₂.

- ii. Τουλάχιστον δύο μετρήσεις ετησίως των βαρέων μετάλλων, των διοξινών και των φουρανίων. Κατά το πρώτο δωδεκάμηνο λειτουργίας, εκτελείται μία μέτρηση τουλάχιστον ανά τρίμηνο.
- iii. Επιτρέπεται αντί της συνεχούς, η περιοδική μέτρηση των HCl, HF και SO₂, εάν ο φορέας εκμετάλλευσης της μονάδας είναι σε θέση να αποδείξει ότι οι εκπομπές των ρύπων αυτών σε καμία περίπτωση δεν πρόκειται να υπερβούν τις καθορισμένες οριακές τιμές εκπομπών.
- iv. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων που διενεργούνται για να εξακριβωθεί η τήρηση των οριακών τιμών εκπομπών ανάγονται στις ακόλουθες συνθήκες:
- Θερμοκρασία 273 K, πίεση 101,3 kPa, περιεκτικότητα σε οξυγόνο 11%, ξηρό αέριο.
 - Σε περίπτωση αποτέφρωσης ή συναποτέφρωσης των αποβλήτων σε ατμόσφαιρα εμπλουτισμένη σε οξυγόνο, τα αποτελέσματα των μετρήσεων μπορούν να ανάγονται σε περιεκτικότητα σε οξυγόνο, την οποία καθορίζει η αρμόδια αρχή ανάλογα με τις εκάστοτε ειδικές συνθήκες.
- v. Οι οριακές τιμές εκπομπών στον ατμοσφαιρικό αέρα θεωρείται ότι τηρούνται, εάν:
- καμία από τις ημερήσιες μέσες τιμές δεν υπερβαίνει τις οριακές τιμές εκπομπών που καθορίζονται στον Πίνακα 2.1
 - είτε καμία από τις μέσες τιμές ανά ημίωρο δεν υπερβαίνει καμία από τις οριακές τιμές εκπομπής που καθορίζονται στον Πίνακα 2.2 (στήλη Α), είτε εφόσον συντρέχει λόγος, το 97% των μέσων τιμών ανά ημίωρο κατά τη διάρκεια του έτους δεν υπερβαίνει καμία από τις οριακές τιμές εκπομπής που καθορίζονται στον Πίνακα 2.2 (στήλη Β)
 - καμία από τις μέσες τιμές της περιόδου δειγματοληψίας που καθορίζει για τα βαρέα μέταλλα, τις διοξίνες και τα φουράνια δεν υπερβαίνει τις οριακές τιμές εκπομπών που καθορίζονται στον Πίνακα 2.3
 - πληρούνται τα προβλεπόμενα στον Πίνακα 2.4.
- vi. Οι μέσες τιμές ημώρου και οι μέσες τιμές δεκαλέπτου προσδιορίζονται εντός του πραγματικού χρόνου λειτουργίας (εξαιρουμένων των φάσεων εκκίνησης και διακοπής, εάν δεν αποτεφρώνονται απόβλητα) από τις τιμές που έχουν προκύψει από τις μετρήσεις, αφού αφαιρεθεί η τιμή του διαστήματος

εμπιστοσύνης, όπως ορίζεται στο σημείο vii που ακολουθεί. Οι ημερήσιες μέσες τιμές προσδιορίζονται από τις ανωτέρω επικυρωμένες μέσες τιμές.

Για να ληφθεί έγκυρη ημερήσια μέση τιμή, δεν απορρίπτονται περισσότερες από πέντε μέσες τιμές ημιώρου στη διάρκεια μίας ημέρας για λόγους ελαττωματικής λειτουργίας ή συντήρησης του συστήματος συνεχών μετρήσεων. Στη διάρκεια ενός έτους δεν απορρίπτονται περισσότερες από δέκα ημερήσιες μέσες τιμές για λόγους ελαττωματικής λειτουργίας ή συντήρησης του συστήματος συνεχών μετρήσεων. Αναφορικά με τις τεχνικές μετρήσεων επισημαίνονται τα εξής:

- Οι μετρήσεις για τον καθορισμό των συγκεντρώσεων ρυπαντικών ουσιών του αέρα και των υδάτων πρέπει να εκτελούνται κατά αντιπροσωπευτικό τρόπο.
- Η δειγματοληψία και η ανάλυση όλων των ρύπων, συμπεριλαμβανομένων των διοξινών και των φουρανίων, καθώς και οι μετρήσεις με μεθόδους αναφοράς για τη βαθμονόμηση των αυτόματων συστημάτων μετρήσεων, διεξάγονται όπως ορίζουν τα πρότυπα CEN. Εάν δεν υπάρχουν τα πρότυπα CEN, ισχύουν τα πρότυπα ISO, εθνικά ή άλλα διεθνή πρότυπα που εξασφαλίζουν την παροχή δεδομένων ισοδύναμης επιστημονικής ποιότητας.
- Οι τιμές των διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% ενός μεμονωμένου αποτελέσματος μέτρησης, που προσδιορίζονται επί της ημερήσιας οριακής τιμής εκπομπών, δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα ακόλουθα ποσοστά επί τοις εκατό των οριακών τιμών εκπομπών:

| | |
|----------------------------|------|
| Μονοξείδιο του άνθρακα: | 10% |
| Διοξείδιο του θείου: | 20% |
| Οξείδιο του αζώτου: | 20% |
| Ολικός κονιορτός: | 30% |
| Ολικός οργανικός άνθρακας: | 30% |
| Υδροχλώριο: | 40% |
| Υδροφθόριο: | 40%. |

Υγρά απόβλητα από την επεξεργασία των καυσαερίων

- i. Εκτελούνται οι παρακάτω μετρήσεις στο σημείο απόρριψης των αποβλήτων:
 - συνεχείς μετρήσεις των παραμέτρων: pH, θερμοκρασίας, παροχής,

- μεμονωμένες ημερήσιες μετρήσεις των ολικών αιωρούμενων στερεών,
 - τουλάχιστον μηνιαίες μετρήσεις, με αντιπροσωπευτικά και ανάλογα με τη ροή δείγματα της απόρριψης εικοσιτετραώρου, των ρυπαντικών ουσιών που αναφέρονται στον Πίνακα 2.5,
 - τουλάχιστον μετρήσεις ανά εξάμηνο των διοξινών και των φουρανίων κατά το πρώτο όμως δωδεκάμηνο λειτουργίας, εκτελείται μία μέτρηση τουλάχιστον ανά τρίμηνο.
- ii. Οι οριακές τιμές για τις εκπομπές στα ύδατα θεωρείται ότι τηρούνται, εάν:
- για το σύνολο των αιωρούμενων στερεών, το 95% και το 100% των μετρούμενων τιμών δεν υπερβαίνει τις αντίστοιχες οριακές τιμές εκπομπών που καθορίζονται στον Πίνακα 2.5,
 - για τα βαρέα μέταλλα, μία και μόνη μέτρηση ανά έτος υπερβαίνει τις οριακές τιμές εκπομπών που καθορίζονται στον Πίνακα 2.5 ή εάν οι αρμόδιες αρχές προβλέπουν τη λήψη και ανάλυση περισσότερων από 20 δειγμάτων ανά έτος, το ποσοστό των δειγμάτων αυτών να μην υπερβαίνει το 5%, για τις οριακές τιμές που ορίζονται στον Πίνακα 2.5,
 - για τις διοξίνες και τα φουράνια, τα αποτελέσματα των δύο μετρήσεων δεν υπερβαίνουν την οριακή τιμή εκπομπής που καθορίζεται στον Πίνακα 2.5.

Στερεά απόβλητα

Πριν καθορισθεί η τεχνική για την επεξεργασία των στερεών υπολειμμάτων της λειτουργίας των μονάδων αποτέφρωσης, διεξάγονται κατάλληλες μετρήσεις για τον προσδιορισμό των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων, καθώς και του ρυπογόνου δυναμικού των υπολειμμάτων αυτών. Οι μετρήσεις καλύπτουν το συνολικό υδατοδιαλυτό κλάσμα και το υδατοδιαλυτό κλάσμα βαρέων μετάλλων.

Οριακές τιμές εκπομπών

Οριακές τιμές ατμοσφαιρικών εκπομπών

Πίνακας 2.2: Οριακές ημερήσιες μέσες τιμές ατμοσφαιρικών ρύπων

| Ατμοσφαιρικός ρύπος | Οριακή τιμή (mg/m ³) |
|--|-------------------------------------|
| Ολικός κονιορτός | 10 |
| Οργανικές ουσίες υπό μορφή αερίων και ατμών, υπολογιζόμενες ως ολικός οργανικός άνθρακας (TOC) | 10 |

| | |
|--|-----|
| Υδροχλώριο (HCl) | 10 |
| Υδροφθόριο (HF) | 1 |
| Διοξείδιο του θείου (SO ₂) | 50 |
| Υποξείδιο του αζώτου (NO) και οξείδιο του αζώτου (NO ₂), υπολογιζόμενα ως οξείδιο του αζώτου, για υφιστάμενες μονάδες αποτέφρωσης ονομαστικής ωριαίας δυναμικότητας άνω των τριών τόνων ή νέες μονάδες αποτέφρωσης | 200 |
| Υποξείδιο του αζώτου (NO) και οξείδιο του αζώτου (NO ₂), υπολογιζόμενα ως οξείδιο του αζώτου, για υφιστάμενες μονάδες αποτέφρωσης ονομαστικής ωριαίας δυναμικότητας τριών τόνων ή μικρότερης | 400 |

Πηγή: Κοινοτική Οδηγία 2000/76/EK

Οι αρμόδιες αρχές μπορούν να επιτρέψουν εξαιρέσεις όσον αφορά τα NO_x για υφιστάμενες μονάδες αποτέφρωσης:

- ονομαστικής ωριαίας δυναμικότητας μικρότερης ή ίσης των 6 tn, εφόσον η άδεια προβλέπει ημερήσιες μέσες τιμές το πολύ 500 mg/m³ και μέχρι την 1η Ιανουαρίου 2008,
- ονομαστικής ωριαίας δυναμικότητας μεγαλύτερης των 6 tn, αλλά μικρότερης ή ίσης των 16 τόνων, εφόσον η άδεια προβλέπει ημερήσιες μέσες τιμές το πολύ 400 mg/m³ και μέχρι την 1η Ιανουαρίου 2010,
- ονομαστικής ωριαίας δυναμικότητας μεγαλύτερης των 16 tn, αλλά κατώτερης των 25 tn η οποία δεν παράγει απορρίψεις στα ύδατα, εφόσον η άδεια προβλέπει ημερήσιες μέσες τιμές το πολύ 300 mg/m³ και μέχρι την 1η Ιανουαρίου 2008.

Μέχρι την 1^η Ιανουαρίου 2008, οι αρμόδιες αρχές μπορούν να επιτρέψουν εξαιρέσεις για τον κονιορτό για υφιστάμενες εγκαταστάσεις αποτέφρωσης, ονομαστικής ωριαίας δυναμικότητας μικρότερης των 16 τόνων, εφόσον η άδεια προβλέπει ημερήσιες μέσες τιμές το πολύ 20 mg/m³.

Πίνακας 2.3: Οριακές μέσες τιμές ημιώρου για ατμοσφαιρικούς ρύπους

| Ατμοσφαιρικός ρύπος | Οριακή τιμή ημιώρου (mg/m ³) | |
|--|--|----------|
| | (100 %) A | (97 %) B |
| Ολικός κονιορτός | 30 | 10 |
| Οργανικές ουσίες υπό μορφή αερίων και ατμών, υπολογιζόμενες ως ολικός οργανικός άνθρακας (TOC) | 20 | 10 |

| | | |
|--|-----|-----|
| Υδροχλώριο (HCl) | 60 | 10 |
| Υδροφθόριο (HF) | 4 | 2 |
| Διοξείδιο του θείου (SO ₂) | 200 | 50 |
| Υποξείδιο του αζώτου (NO) και οξείδιο του αζώτου (NO ₂), υπολογιζόμενα ως οξείδιο του αζώτου, για υφιστάμενες μονάδες αποτέφρωσης ονομαστικής ωριαίας δυναμικότητας άνω των τριών τόνων ή νέες μονάδες αποτέφρωσης | 400 | 200 |

Πηγή: Κοινοτική Οδηγία 2000/76/EK

Μέχρι την 1^η Ιανουαρίου 2010, οι αρμόδιες αρχές δύνανται να επιτρέψουν εξαιρέσεις όσον αφορά τα NO_x, για υφιστάμενες μονάδες αποτέφρωσης ονομαστικής ωριαίας δυναμικότητας μεταξύ 6 και 16 τόνων, εφόσον η μέση τιμή ημιώρου δεν υπερβαίνει τα 600 mg/m³ για τη στήλη Α ή τα 400 mg/m³ για τη στήλη Β.

Πίνακας 2.4: Μέσες τιμές περιόδου δειγματοληψίας ατμοσφαιρικών ρύπων ελάχιστης διάρκειας 30 λεπτών και μέγιστης διάρκειας 8 ωρών

| Ατμοσφαιρικός ρύπος | Μέση τιμή (mg/m ³) |
|--|--------------------------------|
| Κάδμιο και ενώσεις του, ως κάδμιο (Cd) | σύνολο 0.05 |
| Θάλλιο και ενώσεις του, ως θάλλιο (Tl) | |
| Υδράργυρος και ενώσεις του, ως υδράργυρος (Hg) | 0.05 |
| Αντιμόνιο και ενώσεις του, ως αντιμόνιο (Sb) | σύνολο 0.5 |
| Αρσενικό και ενώσεις του, ως αρσενικό (As) | |
| Μόλυβδος και ενώσεις του, ως μόλυβδος (Pb) | |
| Χρώμιο και ενώσεις του, ως χρώμιο (Cr) | |
| Κοβάλτιο και ενώσεις του, ως κοβάλτιο (Co) | |
| Χαλκός και ενώσεις του, ως χαλκός (Cu) | |
| Μαγγάνιο και ενώσεις του, ως μαγγάνιο (Mn) | 0.1 ng/m ³ |
| Νικέλιο και ενώσεις του, ως νικέλιο (Ni) | |
| Βανάδιο και ενώσεις του, ως βανάδιο (V) | |
| Διοξίνες και φουράνια * | |

Πηγή: Κοινοτική Οδηγία 2000/76/EK

* Οι μέσες τιμές μετρούνται σε περίοδο δειγματοληψίας ελάχιστης διάρκειας 6 ωρών και μέγιστης διάρκειας 8 ωρών.

Πίνακας 2.5: Οριακές τιμές εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα

| | |
|---|----------------------------------|
| Μέση ημερήσια τιμή | 50 mg/m ³ καυσαερίων |
| Τουλάχιστον στο 95% όλων των μετρήσεων, ως μέσες τιμές δεκαλέπτου | 150 mg/m ³ καυσαερίων |
| Στο σύνολο των μετρήσεων, ως μέσες τιμές ημιώρου, λαμβανόμενες κατά τη διάρκεια όλου του 24ώρου | 100 mg/m ³ καυσαερίων |

Πηγή: Κοινοτική Οδηγία 2000/76/EK

Η συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα (CO) στα καυσαέρια (εξαιρουμένων των φάσεων έναρξης και διακοπής) δεν υπερβαίνει τις ανωτέρω οριακές τιμές εκπομπών.

Η αρμόδια αρχή μπορεί να εγκρίνει εξαιρέσεις για μονάδες στις οποίες χρησιμοποιείται τεχνολογία ρευστοστερεάς κλίνης, με την προϋπόθεση ότι στη σχετική άδεια προβλέπεται οριακή τιμή εκπομπών για το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) 100 mg/m³ κατ' ανώτατο όριο, ως ωριαία μέση τιμή.

Υγρά απόβλητα

Πίνακας 2.6 : Οριακές τιμές εκπομπών για τις απορρίψεις υγρών αποβλήτων προερχόμενων από τον καθαρισμό των καυσαερίων

| Ρύποι | Οριακές τιμές εκπομπών εκφρασμένες ως συγκεντρώσεις κατά μάζα για αδιάθρητα δείγματα (mg/l) | |
|--|--|-----------|
| Ολικά αιωρούμενα στερεά, όπως ορίζονται στην οδηγία 91/271/ΕΟΚ | 95% / 30 | 100% / 45 |
| Υδράργυρος και ενώσεις του, ως υδράργυρος (Hg) | 0.03 | |
| Κάδμιο και ενώσεις του, ως κάδμιο (Cd) | 0.05 | |
| Θάλλιο και ενώσεις του, ως θάλλιο (Tl) | 0.05 | |
| Αρσενικό και ενώσεις του, ως αρσενικό (As) | 0.15 | |
| Μόλυβδος και ενώσεις του, ως μόλυβδος (Pb) | 0.2 | |
| Χρώμιο και ενώσεις του, ως χρώμιο (Cr) | 0.5 | |
| Χαλκός και ενώσεις του, ως χαλκός (Cu) | 0.5 | |
| Νικέλιο και ενώσεις του, ως νικέλιο (Ni) | 0.5 | |
| Ψευδάργυρος και οι ενώσεις του, ως ψευδάργυρος (Zn) | 1.5 | |
| Διοξίνες και φουράνια | 0.3 ng/l | |

Πηγή: Κοινοτική Οδηγία 2000/76/EK

Μέχρι την 1^η Ιανουαρίου 2008, μπορούν να επιτραπούν από την αρμόδια αρχή εξαιρέσεις για ολικά αιωρούμενα στερεά για υφιστάμενες μονάδες αποτέφρωσης, υπό τον όρο ότι η άδεια προβλέπει ότι το 80% των μετρούμενων τιμών δεν υπερβαίνει τα 30 mg/l και καμία από αυτές δεν υπερβαίνει τα 45 mg/l.

Στερεά απόβλητα

Αναφορικά με τα στερεά υπολείμματα, λόγω του ρυπαντικού τους φορτίου απαιτείται αποτελεσματική επεξεργασία τους και όπου είναι δυνατόν η ανακύκλωσή τους. Ανεξάρτητα από τη μέθοδο επεξεργασίας, πρέπει να επιτυγχάνονται τα εξής:

- περιεκτικότητα σε άκαυστο υλικό μέχρι 2% (επί ξηρής βάσης),
- περιεκτικότητα σε υδατοδιαλυτά συστατικά μέχρι 1% (επί ξηρής βάσης),
- η περιεκτικότητα σε νερό να είναι η μικρότερη δυνατή,
- η περιεκτικότητα σε σίδηρο να είναι πολύ μειωμένη,
- πλήρης καταστροφή των διοξινών – φουρανίων.

Στον Πίνακα 2.6 δίνονται οι οριακές τιμές που πρέπει να πληρούνται μετά την επεξεργασία των στερεών υπολειμμάτων για τους κυριότερους ρύπους που περιέχονται σε αυτά.

Πίνακας 2.7: Οριακές τιμές ρυπαντικών παραμέτρων στα στερεά απόβλητα μετά την επεξεργασία τους

| Ρύπος | Τιμή (mg/l) |
|-------------|-------------|
| Χλωριόντα | 250 |
| Θειικά | 600 |
| Φθόριο | 3 |
| Μόλυβδος | 0.1 |
| Κάδμιο | 0.004 |
| Χρώμιο | 0.04 |
| Χαλκός | 0.5 |
| Νικέλιο | 0.04 |
| Ψευδάργυρος | 0.5 |
| Υδράργυρος | 0.001 |

Πηγή: ΚΥΑ 114218/1997

Μέτρα για μείωση των εκπομπών

Βασικός στόχος πριν από την εφαρμογή κατάλληλων αντιρρυπαντικών τεχνολογιών είναι η ελαχιστοποίηση των ρύπων που περιέχονται στα παραγόμενα αέρια. Η μείωση των εκπομπών των αερίων μπορεί να επιτευχθεί με τις εξής ενέργειες:

- βελτίωση της κατανομής του πρωτογενούς αέρα κατά μήκος των εσχαρών στο θάλαμο καύσης,

- προσαρμογή των συνθηκών θερμοκρασίας κατά μήκος των εσχαρών σε σχέση με τη σύνθεση των απορριμμάτων,
- βελτίωση των συνθηκών μετάκαυσης των αερίων (καλύτερη ανάμιξη των αερίων),
- αυτόματη αναπροσαρμογή της θερμοκρασίας στην περιοχή μετάκαυσης για πλήρη καύση των αερίων,
- βελτίωση του συστήματος απομάκρυνσης τέφρας,
- διακριτός διαχωρισμός της διαδικασίας καύσης (σε πρώτο στάδιο επιτυγχάνεται η ξήρανση - διάσπαση των οργανικών ή ακόμη και η απαέρωση, ενώ στο δεύτερο η πλήρης καύση των αερίων της απαέρωσης).

Επίσης, στις εστίες καύσης ενδείκνυνται οι εξής ενέργειες:

- αύξηση του πρωτογενούς αέρα στο 70% του συνολικά απαιτούμενου αέρα,
- αύξηση της προθέρμανσης του πρωτογενούς αέρα καύσης τουλάχιστον στους 120°C για απόβλητα μέσης και υψηλής θερμογόνου δύναμης και στους 150 - 180°C για απόβλητα χαμηλής μέχρι μέσης θερμογόνου δύναμης.

2.7 Εισαγωγή στα μέτρα για την ελάττωση των ρύπων

Τα μέτρα ελάττωσης των ρύπων από ΜΚΑ μπορούν να χωρισθούν σε δύο κύριες κατηγορίες, τα πρωτογενή και τα δευτερογενή. Τα πρωτογενή αποτρέπουν την παραγωγή ρύπων ενώ τα δευτερογενή "συλλαμβάνουν" τους ήδη υπάρχοντες ρύπους και τους φέρνουν σε μία μορφή ουδέτερη ή και αξιοποιήσιμη. Το μέχρι στιγμής αποτελεσματικότερο μέτρο ελάττωσης των εκπομπών είναι ο καθαρισμός των καυσαερίων, στη βελτιστοποίηση του οποίου έχουν γίνει σημαντικότερες πρόοδοι τα τελευταία 15 χρόνια. Ο καθαρισμός των καυσαερίων συνίσταται στο φυσικό διαχωρισμό των στερεών και στο χημικό διαχωρισμό των αερίων ρύπων από τη ροή των καυσαερίων. Εφαρμόζονται τρεις γενικές αρχές διεργασιών, οι οποίες περιγράφονται στον Πίνακα 2.8.

Πίνακας 2.8: Διεργασίες χημικού καθαρισμού καυσαερίων

| | |
|--|--|
| Υγρή διεργασία | Αντιδραστήριο: υγρό , υπόλειμμα της διεργασίας: υγρό , διαχωρισμός των στερεών πριν τη χημική αντίδραση |
| Ημίυγρη (οιονεί-ξηρή) διεργασία | Αντιδραστήριο: υγρό , υπόλειμμα της διεργασίας: ξηρό , διαχωρισμός των στερεών μετά τη χημική αντίδραση |
| Ξηρή διεργασία | Αντιδραστήριο: ξηρό , υπόλειμμα της διεργασίας: ξηρό , διαχωρισμός των στερεών μετά τη χημική αντίδραση |

2.7.1 Εκπομπές ρύπων και καθαρισμός απαερίων

Η εγκατάσταση καθαρισμού καυσαερίων σε μία μονάδα καύσης απορριμμάτων δεν αποτελεί απλή βοηθητική εγκατάσταση, αλλά εξυπηρετεί άμεσα τον προορισμό της ίδιας της μονάδας.

Ο καθαρισμός των καυσαερίων αποτελεί ένα σημαντικό τμήμα της θερμικής επεξεργασίας των απορριμμάτων, η οποία πρέπει να αντιμετωπίζεται σφαιρικά ως μία φυσικοχημική επεξεργασία, καθώς φυσικές και χημικές διεργασίες εξελίσσονται τόσο κατά την καύση όσο και κατά τα επιμέρους στάδια του καθαρισμού καυσαερίων. Ο βασικός προορισμός του καθαρισμού των καυσαερίων σε μονάδες καύσης απορριμμάτων είναι ο διαχωρισμός των αερίων και των (στο καυσαέριο υγροποιημένων) στερεών προϊόντων της καύσης, με περαιτέρω στόχο είτε μία περαιτέρω υλική τους αξιοποίηση είτε την ασφαλή τελική διάθεση (απόθεση). Το δυναμικό των υλικώς αξιοποιήσιμων συστατικών στα απαέρια μονάδων καύσης απορριμμάτων είναι πάντως χαμηλό (π.χ. επανάκτηση Hg, χρήση του Cl για παραγωγή HCl, χρήση των οξειδίων του θείου για παραγωγή γύψου). Κατά την απόθεση των υλικώς μη αξιοποιήσιμων συστατικών πρέπει να γίνει διάκριση μεταξύ:

- απόρριψης φυσικών συστατικών του αέρα στην ατμόσφαιρα (κυρίως CO₂ αλλά και ιχνοστοιχεία όπως οξείδια του αζώτου χωρίς πάντως την πρόκληση ουσιαστικών βλαβών στο περιβάλλον),
- υγειονομικής ταφής αδρανών στερεών σε χωματερές (κυρίως αδρανοποιημένη ιπτάμενη τέφρα),
- υγειονομικής ταφής σε ειδικούς χώρους (μίγματα βαρέων μετάλλων, μίγματα αλάτων).

Το είδος και η ποσότητα των περιεχομένων των καυσαερίων από μονάδες καύσης απορριμμάτων (ΜΚΑ) εξαρτώνται από τη σύσταση του καυσίμου-απορρίμματος, το σύστημα καύσης, την οδήγηση των καυσαερίων και τις συνθήκες

καύσης. Μία τυπική σύσταση ακάθαρτων καυσαερίων φαίνεται στον ακόλουθο Πίνακα 2.1:

Πίνακας 2.9: Συστατικά ακάθαρτων καυσαερίων από μονάδες καύσης

| Συστατικό | Τιμή | Μονάδες |
|-------------------|-----------|-------------------|
| H ₂ O | 10-18 | % κ.ο. |
| CO ₂ | 6-12 | % κ.ο. |
| O ₂ | 7-14 | % κ.ο. |
| CO | 20-600 | mg/m ³ |
| HCl | 400-1500 | mg/m ³ |
| HF | 2-20 | mg/m ³ |
| SO ₂ | 200-800 | mg/m ³ |
| NO _x | 250-400 | mg/m ³ |
| Διοξίνες/Φουράνια | 300-500 | mg/m ³ |
| Τέφρα | 800-15000 | mg/m ³ |

Πηγή:

2.7.2 Συστήματα Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

Παρά τις διαφορές στα όρια εκπομπής των αερίων μεταξύ διαφόρων χωρών, αλλά και μεταξύ διαφορετικών εγκαταστάσεων καύσης (αστικά απορρίμματα, επικίνδυνα απόβλητα), οι απαιτήσεις σε όλες τις περιπτώσεις είναι αυστηρές, οδηγώντας στην ανάγκη εφαρμογής συστημάτων ελέγχου σύμφωνα με την αρχή της καλύτερης διαθέσιμης τεχνολογίας.

Ο έλεγχος των οσμών και αερίων, όπως το CO και τα NO_x, καθώς και οργανικών ενώσεων (υδρογονάνθρακες, διοξίνες και φουράνες), μπορεί να επιτευχθεί μέσω της επιλογής κατάλληλου κλιβάνου (π.χ. ρευστοποιημένης κλίνης) και λειτουργίας του συστήματος υπό κατάλληλες συνθήκες (π.χ. θερμοκρασία απαερίων μεταξύ 850 - 900°C). Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, αυτό το διάστημα θερμοκρασιών οδηγεί σε χαμηλές συγκεντρώσεις CO, υδρογονανθράκων, αλλά και NO_x, ενώ και οι διοξίνες καταστρέφονται σε θερμοκρασίες υψηλότερες των 850°C. Λόγω του γεγονότος ότι σε θερμοκρασίες μεταξύ 200 και 400°C οι διοξίνες επαναδημιουργούνται, απαιτείται απότομη ψύξη των αερίων από τους 400°C στους 200°C για την ελαχιστοποίηση επαναδημιουργίας των. Ως συνέπεια της απαίτησης αυτής, το ποσό της ανακατωμένης ενέργειας μειώνεται, (αφού η ανάκτηση θερμότητας περιορίζεται σε μείωση της θερμοκρασίας στους 400°C αντί των 200°C για την αποφυγή επαναδημιουργίας διοξινών στο σύστημα του εναλλάκτη θερμότητας).

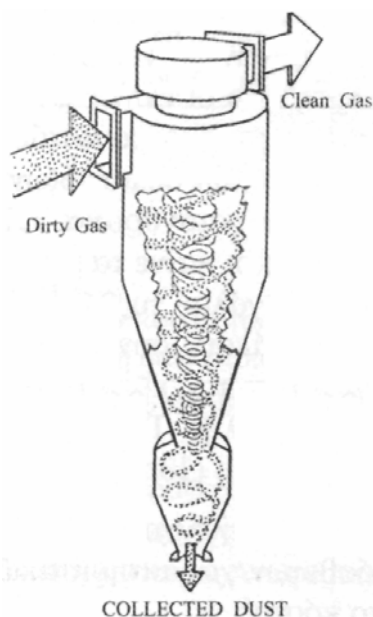
Όπως ήδη αναφέρθηκε, ο έλεγχος των NO_x είναι δυνατός με την κατάλληλη επιλογή του κλιβάνου και των συνθηκών λειτουργίας του. Περαιτέρω πρόσθετος έλεγχος των NO_x μπορεί να επιτευχθεί με καταλυτική διάσπαση και αναγωγή. Η καταλυτική διάσπαση προϋποθέτει έκθεση των αερίων σε καταλύτη, με αποτέλεσμα την αναγωγή των NO_x σε N_2 . Με παρόμοιο τρόπο, έκθεση των αερίων σε καταλύτη, με ταυτόχρονη χρήση αμμωνίας ως μέσου αναγωγής, οδηγεί σε διάσπαση των NO_x σε N_2 . Οι διαδικασίες αυτές, μπορούν να μειώσουν τη συγκέντρωση των NO_x έως και 90%. Τα μειονεκτήματα της μεθόδου αφορούν κυρίως στο υψηλό κόστος και στο ενδεχόμενο φθοράς του συστήματος από τα βαρέα μέταλλα. Ένα πιο οικονομικό σύστημα, το οποίο μπορεί να εφαρμοστεί στους αποτεφρωτές για τον περαιτέρω έλεγχο των NO_x , είναι ένα θερμικό σύστημα με μέσο αναγωγής την αμμωνία ή την υγρή ουρία, χωρίς όμως την προσθήκη καταλυτών. Το σύστημα αυτό επιτυγχάνει μείωση των NO_x κατά 40 - 60%.

Για τον έλεγχο των σωματιδίων χρησιμοποιούνται τρία συστήματα: διαχωρισμός με κυκλώνα, ηλεκτροστατικός διαχωρισμός και φιλτράρισμα μέσω υφάσματος. Ωστόσο, οι δύο τελευταίες μέθοδοι μπορούν ευκολότερα και με μεγαλύτερη ασφάλεια να επιτύχουν τα απαιτούμενα αυστηρά όρια εκπομπής σωματιδίων.

Κυκλώνες

Οι κυκλώνες είναι οι απλούστερες και οικονομικότερες συσκευές, οι οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα, για την απομάκρυνση της σωματιδιακής ύλης από αέρια, όμως η εφαρμογή τους περιορίζεται σε πηγές οι οποίες εκπέμπουν σωματίδια μεγάλου μεγέθους.

Σε μία συμβατική μονάδα, όπως αυτή του Σχήματος 2.19, καθώς το αέριο το οποίο περιέχει σκόνη εισέρχεται εφαπτομενικά στο δοχείο και εξαναγκάζεται σε στροβιλισμό, εξασκούνται στην σωματιδιακή ύλη κεντρόφυγες δυνάμεις. Έτσι, τα σωματίδια ρίπτονται στο εξωτερικό τοίχωμα του κυκλώνα, όπου η ταχύτητα τους ελαττώνεται και πέφτουν στον πυθμένα της συσκευής, από όπου απομακρύνονται. Το καθαρό αέριο απομακρύνεται από το κέντρο της συσκευής, μέσω ενός κατακόρυφου σωλήνα.



Σχήμα 2.19: Συμβατικός φυγοκεντρικός διαχωριστής (κυκλώνας)

Πηγή: [9]

Η απόδοση ενός κυκλώνα κυμαίνεται μεταξύ 80% και 90%, ανάλογα με την κατανομή μεγέθους των σωματιδίων^[10]. Τα μεγαλύτερα σωματίδια, με την μεγαλύτερη μάζα, απομακρύνονται αποδοτικότερα από ότι τα ελαφρύτερα σωματίδια, επειδή η φυγόκεντρος δύναμη η οποία εξασκείται σε ένα σωματίδιο μεταβάλλεται ανάλογα με την μάζα του. Τα σωματίδια τα οποία είναι μικρότερα από 10 μm , μειώνουν την αποδοτικότητα απομάκρυνσης σε επίπεδα χαμηλότερα από το 90%.

Η αποδοτικότητα μπορεί να είναι υψηλότερη, αν αυξηθεί η ταχύτητα του αερίου, ή αν μειωθεί η διάμετρος του κυκλώνα. Όμως, αυτό οδηγεί σε αύξηση του κόστους της μονάδας και σε μείωση της δυναμικότητας της.

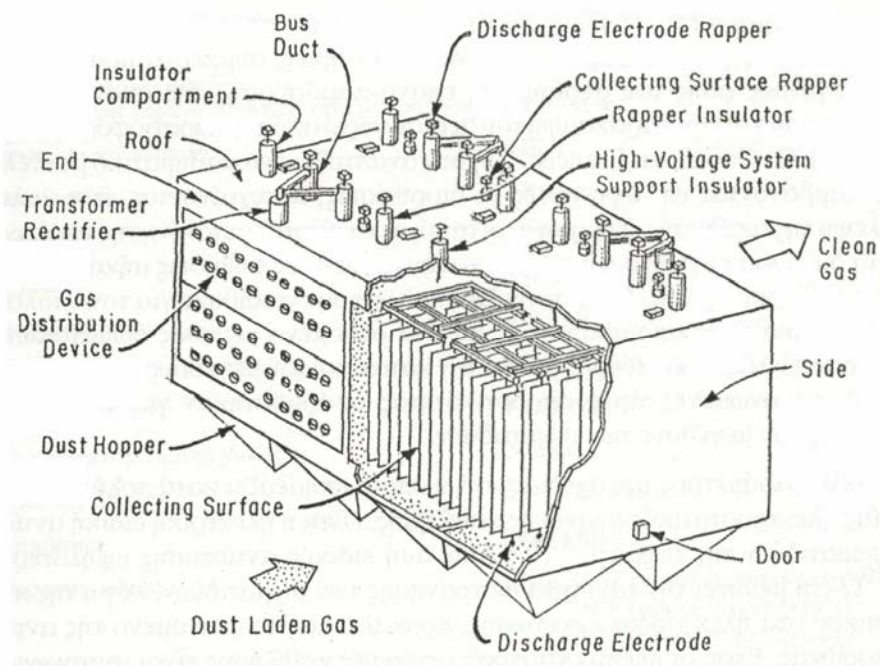
Τα επίπεδα αποδοτικότητας των κυκλώνων οι οποίοι χρησιμοποιούνται σήμερα σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις δεν είναι ικανοποιητικά. Οι εγκαταστάσεις αυτές οφείλουν να λειτουργούν με αυστηρότερα κριτήρια. Για τον λόγο αυτό, συνηθίζεται η χρησιμοποίηση πολλών κυκλώνων μικρής διαμέτρου, σε μία διάταξη σωληνώσεων εισροής και εκροής, κάτι που επιτρέπει την παράλληλη λειτουργία κυκλώνων μεγάλης αποδοτικότητας σε μεγαλύτερες ροές. Επίσης, χρησιμοποιούνται κυκλώνες διατεταγμένοι εν σειρά για την βελτίωση της απόδοσης, χωρίς να αυξηθεί η ταχύτητα του αερίου, ή κυκλώνες σε συνδυασμό με περισσότερο αποτελεσματικές και δαπανηρές συσκευές, όπως οι πλυντήρες αερίων, μειώνοντας έτσι τις απαιτήσεις μεγέθους για την δεύτερη μονάδα.^[9]

Ηλεκτροστατικοί διαχωριστές

Οι ηλεκτροστατικές συσκευές καθίζησης, αντίθετα με άλλες μεθόδους συλλογή σωματιδιακής ύλης, επενεργούν μόνο στα σωματίδια, και όχι σε όλη την αέρια ροή έτσι ώστε η απώλεια πίεσης αερίου κατά την διέλευσή του από την μονάδα να είναι ελάχιστη.

Λόγω του ότι η χαμηλή ταχύτητα μετακίνησης των λεπτών σωματιδίων, στην επιφάνεια συλλογής, απαιτεί μεγάλες συσκευές και δεν απαιτείται επιπλέον δυναμικότητα για την απομάκρυνση των μεγαλύτερων σωματιδίων, η καθιερωμένη πρακτική είναι να χρησιμοποιείται μία συσκευή ικανή να απομακρύνει όλη τη σκόνη.

Η βασική αρχή της ηλεκτροστατικής καθίζησης είναι η ακόλουθη. Μία κάθοδος εκκένωσης, αποτελούμενη από μία σειρά λεπτών συρμάτων διατεταγμένων σε μία απόσταση 15 – 30 cm το ένα από το άλλο, αιωρείται μεταξύ ενός αριθμού θετικών φορτισμένων κάθετων παράλληλων πλακών μέσα στο αέριο ρεύμα. Μεταξύ αυτών των ηλεκτροδίων εφαρμόζεται ένα δυναμικό 30-75kV.^[11] Το αέριο το οποίο περνά ανάμεσα στις πλάκες ιονίζεται, από το ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο το οποίο αναπτύσσεται μεταξύ των θετικά φορτισμένων πλακών και των αρνητικά φορτισμένοι συρμάτων. Ο ιονισμός του αερίου προκαλεί την ανάπτυξη φορτίου στα σωματίδια και την μετακίνηση τους προς τις πλάκες συλλογής, καθώς το αέριο προχωρά διαμέσου της συσκευής καθίζησης. Οι πλάκες συλλογής είναι θετικά φορτισμένες για την αποφυγή διακοπτόμενου σπινθηρισμού σε υψηλές εντάσεις πεδίου. *V* συσσωρευμένη σωματιδιακή μάζα, η οποία επικολλάται στις πλάκες αυτές, ταράσσεται σε ελεγχόμενα διαστήματα με μικρά σφυριά, τα οποία αποκαλούνται "rappers" και συλλέγεται σε μία χοάνη, που βρίσκεται κάτω από την συσκευή καθίζησης (Σχήμα 2.20).



Σχήμα 2.20: Ηλεκτροστατική συσκευή καθίζησης
Πηγή: [9]

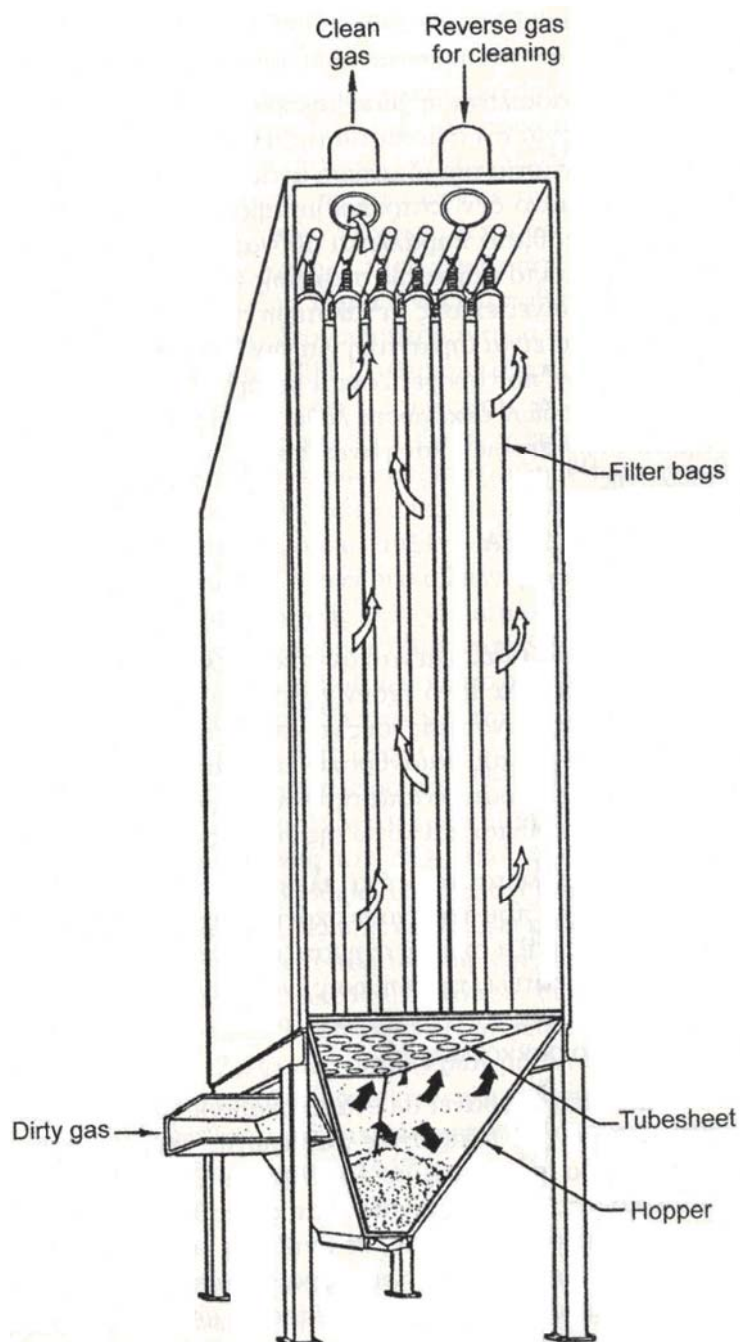
Κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των ηλεκτροστατικών διαχωριστών είναι το μέγεθος των σωματιδίων, το φορτίο και η ειδική αντίσταση. Σε περιπτώσεις που η ειδική αντίσταση της σκόνης και το μέγεθος των σωματιδίων ή άλλοι παράγοντες, καθιστούν αναγκαία την εγκατάσταση ενός μεγάλου και δαπανηρού συστήματος ηλεκτροστατικού διαχωριστή, η εφαρμογή της φίλτρανσης μέσω υφάσματος αποτελεί κατάλληλη εναλλακτική λύση.

Υφασμάτινα φίλτρα

Τα φίλτρα από ύφασμα (καλούμενα και σακκόφιλτρα), αν και αναπτύχθηκαν πολλά χρόνια πριν, πρόσφατα μόνο έχουν χρησιμοποιηθεί στην βιομηχανία ηλεκτροπαραγωγής, λόγω της ικανότητας τους να κατακρατούν πολύ λεπτά σωματίδια και να καθαρίζουν τα αέρια του γαιάνθρακα με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο. Έτσι, ικανοποιούν τους περισσότερο απαιτητικούς σύγχρονους κανονισμούς εκπομπών. Επίσης, χρησιμοποιούνται και λόγω της υψηλής αποτελεσματικότητάς τους.

Το σακκόφιλτρο αποτελείται από ένα πλεκτό ή τσόχινο ύφασμα, μέσω του οποίου διέρχονται τα αέρια που περιέχουν σκόνη. Όταν χρησιμοποιούνται πλεκτά υφάσματα, μία συμπαγής μάζα σκόνης (σηματίζεται στην επιφάνεια του υφάσματος, το οποίο ουσιαστικά επιτελεί την διήθηση, ενώ όταν χρησιμοποιούνται τσόχινα

υφάσματα, οι ίνες αφ' εαυτές ενεργούν σαν το μέσο διήθησης. Το Σχήμα 2.21 παρουσιάζει ένα θάλαμο σακκόφιλτρων.



Σχήμα 2.21: Θάλαμος σακκόφιλτρων

Πηγή: [9]

Όταν η πτώση της πίεσης φθάνει σε ένα προκαθορισμένο επίπεδο, τα φίλτρα πρέπει να καθαρισθούν. Για εφαρμογές παραγωγής ενέργειας, ο καθαρισμός γίνεται ενόσω η μονάδα βρίσκεται σε λειτουργία. Ο θάλαμος σακκόφιλτρων χωρίζεται σε διαμερίσματα, ώστε να είναι δυνατός ο καθαρισμός ενός διαμερίσματος, ενώ τα

υπόλοιπα λειτουργούν. Έτσι, σε αντίθεση με άλλες συσκευές ελέγχου σωματιδιακής ύλης, τα σακκόφιλτρα πρέπει να κατασκευασθούν σε μεγέθη μεγαλύτερα από τα προβλεπόμενα, για να επιτρέπεται η μερική διακοπή λειτουργίας για καθαρισμό. Ο καθαρισμός των σάκκων του φίλτρου είναι ένα σοβαρό μηχανολογικό θέμα, το οποίο επιδρά στην λειτουργία και την από οικονομικής πλευράς απόδοση των σακκόφιλτρων.

Οι κυριότερες μέθοδοι καθαρισμού είναι οι ακόλουθες.

- Μηχανική ανατάραξη ή καθαρισμός με αέρα: Αυτή είναι μία αποδοτική, αξιόπιστη και οικονομική μέθοδος, όπου οι σάκκοι καθαρίζονται αναταράσσοντας με μηχανικό τρόπο τον σκελετό όπου εφαρμόζονται τα φίλτρα, ή φυσώντας αέρα διαμέσου των σειρών.

- Καθαρισμός με φούσκα: Κατά την μέθοδο αυτή, εφαρμόζεται στην κορυφή του σάκκου ένας μεγάλος παλμός ρεύματος, ο οποίος παίρνει την μορφή μίας φούσκας και κινείται προς τα κάτω σαν ένα κύμα. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η μεγάλη απαιτούμενη ποσότητα συμπιεσμένου αέρα.

- Καθαρισμός με αναστροφή της ροής του αέρα: Στην περίπτωση αυτή, οι σάκκοι καθαρίζονται αντιστρέφοντας την ροή του αέρα, αφού απομονωθούν από το ρεύμα του απαερίου. Πρόκειται για μία αποδοτική μέθοδο, η οποία όμως απαιτεί μεγάλη δυναμικότητα για τον χειρισμό του ανακυκλούμενου αερίου.

- Καθαρισμός με ήχους: Οι γεννήτριες ήχων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την έκλυση της σκόνης από τους σάκκους, όμως, για έναν αποδοτικό καθαρισμό απαιτείται είτε επιπρόσθετος καθαρισμός με αναστροφή της ροής του αέρα, είτε επιπρόσθετη διατάραξη.^[12]

Τόσο οι ηλεκτροστατικοί διαχωριστές, όσο και τα υφασμάτινα φίλτρα θεωρούνται από την ΕΕ ότι ανήκουν στην κατηγορία των καλύτερων διαθέσιμων τεχνολογιών.

Ο έλεγχος των όξινων αερίων μπορεί να επιτευχθεί από ξηρά, ημίξηρα και υγρά συστήματα καθαρισμού αερίων. Τα ξηρά συστήματα προϋποθέτουν την επαφή ενός βασικού προσροφητή συνήθως ασβέστη, με τα απαέρια σε σωλήνα Ventouri, όπου ο προσροφητής αντιδρά με τα οξέα του αερίου. Το προϊόν της αντίδρασης καθώς και η περίσσεια του προσροφητή παγιδεύονται στην επιφάνεια ενός κατάντι υφασμάτινου φίλτρου. Τα ξηρά συστήματα είναι απλά, με χαμηλό κόστος κεφαλαίου, αλλά μειωμένη απόδοση (ειδικά για τα SO₂, είναι μόνο 50%), ενώ ταυτόχρονα απαιτούν

και σημαντικές ποσότητες χημικών αντιδραστηρίων. Εξαιτίας της μικρής τους απόδοσης, τα συστήματα αυτά είναι αμφίβολο αν μπορούν να επιτύχουν τα απαιτούμενα όρια εκπομπών για τις εγκαταστάσεις καύσης.

Τα ημίξηρα συστήματα είναι πιο αποτελεσματικά και μπορούν να επιτύχουν απομάκρυνση έως και 90% για τα SO₂, ενώ για το HCl και το HF πάνω από 99%. Τα ημίξηρα συστήματα, φέρνουν σε επαφή τα αέρια με ρευστοποιημένο ασβέστη μέσα σε έναν αντιδραστήρα. Ο ρευστοποιημένος ασβέστης έχει μεγάλη ειδική επιφάνεια, στην οποία τα όξινα αέρια προσροφώνται αποτελεσματικά, επιτρέποντας την αντίδραση του ασβέστη με τα οξέα των αερίων. Το τελικό προϊόν της διεργασίας είναι ξηρή σκόνη, αποτελούμενη κυρίως από άλατα ασβεστίου, η οποία συλλέγεται κατάντι με την βοήθεια ενός ηλεκτροστατικού διαχωριστή ή ενός υφασμάτινου φίλτρου.

Τα υγρά συστήματα καθαρισμού αερίων είναι ακόμα πιο αποτελεσματικά (απομάκρυνση πάνω από 98% για τα SO₂, και πάνω από 99% για το HCl και το HF) και συνήθως πιο οικονομικά από τα ημίξηρα συστήματα. Αυτοί φαίνεται να είναι οι λόγοι για τους οποίους τα υγρά συστήματα καθαρισμού αερίων χρησιμοποιούνται ευρύτερα στην επεξεργασία των απαερίων των αποτεφρωτών, παρά το μειονέκτημα παραγωγής υγρών αποβλήτων τα οποία θα πρέπει να υποστούν επεξεργασία. Τα υγρά συστήματα καθαρισμού αερίων επανακυκλοφορούν τον προσροφόντα ρευστοποιημένο ασβέστη μέσα σε δοχείο εκθέτοντας μεγάλες ποσότητες ρευστοποιημένου ασβέστη στα αέρια. Η μεγάλες ποσότητες περίσσειας νερού (ή επεξεργασμένων λυμάτων) που έρχονται σε επαφή με τα αέρια, μειώνουν τη θερμοκρασία των αερίων στο επίπεδο του αδιαβατικού κορεσμού. Στη θερμοκρασία αυτή, γίνεται η προσρόφηση των οξέων στην αποδοτική υγρή φάση. Υψηλές αποδόσεις μπορεί να επιτευχθούν με την χρήση μόνο 3-5% περίσσειας αντιδραστηρίων. Οι δύο τύποι αντιδραστηρίων που κυρίως χρησιμοποιούνται είναι ο ρευστοποιημένος ασβέστης και η καυστική σόδα (NaOH), η οποία είναι και πιο ακριβή.

Ο τρόπος ελέγχου των εκπομπών βαρέων μετάλλων εξαρτάται κυρίως από την πτητικότητα τους. Μέταλλα με χαμηλή πτητικότητα (χαλκός, νικέλιο, χρώμιο κλπ.) παραμένουν στην ιπτάμενη τέφρα και μπορούν να απομακρυνθούν μέσω των συστημάτων ελέγχου της τέφρας. Στοιχεία περισσότερο πτητικά, όπως ο μόλυβδος, το κάδμιο, το αρσενικό και κυρίως ο υδράργυρος, εξατμίζονται στις θερμοκρασίες

καύσης. Στις χαμηλότερες θερμοκρασίες μετά την ανάκτηση θερμότητας, κάποια από αυτά τα μέταλλα συσσωματώνονται δημιουργώντας αρκετά μεγάλα σωματίδια, τα οποία τελικά απομακρύνονται αποτελεσματικά από τα συστήματα ελέγχου της τέφρας των σωματιδίων. Τα ιδιαίτερα πτητικά μέταλλα, κυρίως ο υδράργυρος, απομακρύνονται πιο δύσκολα. Οι οξειδωμένες μορφές υδραργύρου (π.χ. HgCl_2) είναι διαλυτές στο νερό, με αποτέλεσμα να απομακρύνονται σε κατάλληλα συστήματα υγρής επεξεργασίας τα οποία λειτουργούν σε θερμοκρασίες κορεσμού, μεταξύ 60-65°C.

Για την απομάκρυνση του στοιχειακού υδραργύρου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ειδικό φίλτρο βασιζόμενο σε προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα. Στο φίλτρο αυτό είναι δυνατή και η απομάκρυνση διοξινών που ενδεχόμενα έχουν επαναδημιουργηθεί. Για την αποφυγή δημιουργίας ενός ορατού πλουμίου ατμών στην καπνοδόχο, τα κορεσμένα αέρια συνήθως επαναθερμούνται μέσω συστήματος θερμικού εναλλάκτη αερίων με αξιοποίηση των θερμών απαερίων. Με την θέρμανση επιτυγχάνεται και καλύτερη διασπορά τους στην ατμόσφαιρα.^{[1][19][21]}

2.8. Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Διάφορες πλην των καυσαερίων επιπτώσεις

Η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της καύσης θα πρέπει να αντιμετωπίζει όλες τις μορφές των περιβαλλοντικών επιδράσεων. Η κύρια δυνητική επίπτωση είναι η απελευθέρωση διαφόρων επικινδύνων ρύπων στην ατμόσφαιρα. Η ειδική αυτή πλευρά επιπτώσεων καθώς και η σχετική νομοθεσία και τα μέτρα ελέγχου, θα αναλυθούν στη συνέχεια. Οι λοιπές περιβαλλοντικές επιπτώσεις συνοψίζονται ως εξής:

Οπτική παρενόχληση: Η αισθητική μίας εγκατάστασης καύσης εξαρτάται όχι μόνο από τον όγκο της αλλά και από το σχεδιασμό της: την επιλογή των διεργασιών, τη διάταξη των επιμέρους μονάδων, τον βαθμό στον οποίο είναι εκτεθειμένες σε οπτική επαφή, τις προσπάθειες που καταβάλλονται για τη διαμόρφωση του τοπίου συμπεριλαμβανομένων κατάλληλων αναχωμάτων με δενδροφύτευση και την επιλογή των υλικών και χρωμάτων των επιφανειών των κτιρίων και των λοιπών κατασκευών. Κατά το σχεδιασμό μίας εγκατάστασης καύσης είναι φρόνιμο να δίνεται ιδιαίτερη σημασία στην αρχιτεκτονική της μονάδος ακόμα και αν αυτό συνεπάγεται αυξημένο κόστος. Καπνοδόχοι μεγάλου ύψους υποβοηθούν τη διασπορά των αερίων εκπομπών

όμως ταυτόχρονα είναι ορατοί από μεγάλη απόσταση. Η χρήση κατάλληλων μαθηματικών μοντέλων διασποράς μπορεί να βοηθήσει στην εύρεση του βέλτιστου ύψους. Επίσης, συχνά απαιτείται οι αέριες εκπομπές να μην είναι ορατές. Αν και ο έλεγχος αυτός είναι κυρίως αισθητικός, η εικόνα μίας καπνοδόχου η οποία δεν φαίνεται να εκπέμπει αέρια δημιουργεί μία ιδιαίτερα ελκυστική εικόνα.

Οσμές: Ο κίνδυνος των οσμών σχετίζεται μόνο με τις σποραδικές διαφυγές από την εγκατάσταση ή από τα στερεά πριν από την αποτέφρωσή τους, καθώς οι ενώσεις οι οποίες θα μπορούσαν να δημιουργήσουν δυσάρεστες οσμές καταστρέφονται σε μία αποτελεσματικά λειτουργούσα εγκατάσταση καύσης. Οι χειριστές θα πρέπει να λαμβάνουν τις απαραίτητες προφυλάξεις, συμπεριλαμβανομένων τακτικών ελέγχων για τυχόν διαρροές, ώστε να αποφευχθούν ατυχήματα τα οποία θα προκαλούσαν προβλήματα οσμών και/ή θα έθεταν ενδεχομένως σε κίνδυνο την υγεία τους. Η μεταφορά και αποθήκευση του προς καύση υλικού θα πρέπει να γίνεται μέσα σε κατάλληλα διαμορφωμένους χώρους, στους οποίους θα διατηρείται υπό πίεση.

Θόρυβοι: Οι αποτεφρωτές, όπως όλες οι μονάδες που χρησιμοποιούν μηχανολογικό εξοπλισμό, προκαλούν κάποιο θόρυβο, π.χ. από τους εξαιριστήρες των μονάδων επεξεργασίας των αερίων. Οι θόρυβοι αυτοί μπορεί να ελαττωθούν σημαντικά, ακόμα και σε ανεπαίσθητα επίπεδα με τον προσεκτικό σχεδιασμό (π.χ. ηχομονωτικά πετάσματα) και την επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού.

Μεταφορά: Η μεταφορά των ακατέργαστων αποβλήτων είναι πιο συχνή από την μεταφορά στη χωματερή της παραγόμενης τέφρας. Σε περιπτώσεις όπου η παραγωγή της αφυδατωμένης ιλύος γίνεται στο χώρο αποτέφρωσης, η κίνηση των οχημάτων είναι περιορισμένη.

Κοινωνικο-Οικονομικοί Παράγοντες: Μία εγκατάσταση καύσης μπορεί να έχει ως συνέπειες τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και την αύξηση της οικονομικής δραστηριότητας στη συγκεκριμένη περιοχή. Ταυτόχρονα όμως μπορεί να έχει και αρνητικές επιπτώσεις στην αξία των ακινήτων της περιοχής αλλά και σε τοπικές βιομηχανίες, κυρίως βιομηχανίες τροφίμων. Λαμβάνοντας υπόψη τα αυστηρά όρια των αερίων εκπομπών, μια εγκατάσταση η οποία λειτουργεί αποτελεσματικά θα έχει περιορισμένη επίδραση στο περιβάλλον της περιοχής, χωρίς να μειώνει την αξία των ακινήτων, ή να προκαλεί μόλυνση στα τρόφιμα τα οποία παράγονται ή διακινούνται στην περιοχή.

Αποθήκευση χημικών και καυσίμων: Σε μία εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων οι κύριες χημικές διαδικασίες και τα συστήματα αποθήκευσης σχετίζονται με την επεξεργασία της υγρής φάσης και την αφυδάτωση της ιλύος. Στην περίπτωση της καύσης είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός παρόμοιου προγράμματος για την εξασφάλιση της προστασίας του περιβάλλοντος από ενδεχόμενες διαρροές χημικών (διαλυτικά μέσα). Κατά την χρήση πετρελαίου ως συμπληρωματικής καύσιμης ύλης θα πρέπει να λαμβάνονται μέτρα για την αποφυγή διαρροών. Τα συστήματα αποθήκευσης πετρελαίου θα πρέπει να έχουν την κατάλληλη στεγάνωση και ένα σύστημα ελέγχου διαρροών. Αυτά τα συστήματα αυξάνουν μεν το κόστος των χώρων αποθήκευσης του πετρελαίου, αλλά ταυτόχρονα ελαχιστοποιούν την πιθανότητα

Διαφυγή σκόνης: Όταν ο αποτεφρωτής λειτουργεί σε θετική πίεση ή όταν τα συστήματα διαχείρισης της τέφρας δεν είναι ερμητικά κλειστά, τότε το αποτέλεσμα είναι διαφυγή σκόνης. Σ' αυτές τις περιπτώσεις μπορούν να παρατηρηθούν τοπικά υψηλές συγκεντρώσεις τέφρας μέσα ή κοντά στις εγκαταστάσεις, προκαλώντας ενδεχομένως προβλήματα στους εργαζομένους. Επίσης, η μεταφορά ξηρής τέφρας σε χωματερές μέσω του οδικού δικτύου μπορεί να προκαλέσει διαφυγή της αν τα οχήματα δεν είναι τελείως κλειστά. Η ταφή της τέφρας σε χωματερές πρέπει να γίνεται προσεκτικά για την αποφυγή δημιουργίας σκόνης κατά την διάθεση ή την κάλυψη. Για την ελαχιστοποίηση των προβλημάτων αυτών προτείνεται η εφαρμογή υγρών συστημάτων διαχείρισης της τέφρας.

Διοξείδιο του άνθρακα και το φαινόμενο του θερμοκηπίου: Η καύση των ΑΣΑ και της ιλύος αλλά και η ξήρανσή τους, απελευθερώνουν διοξείδιο του άνθρακα το οποίο συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ωστόσο, όταν εφαρμόζεται επανάκτηση ενέργειας από αυτές τις διεργασίες, η οποία χρησιμοποιείται ως υποκατάστατο των φυσικών καυσίμων, δεν προκύπτει καθαρή πρόσθετη απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα. Θα πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη ότι η εναλλακτική διάθεση σε χωματερές, οδηγεί σε απελευθέρωση τόσο διοξειδίου του άνθρακα όσο και μεθανίου. Το μεθάνιο έχει σημαντική επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, περίπου 7.5 φορές μεγαλύτερη από την επίδραση μίας ισοδύναμης ποσότητας άνθρακα με τη μορφή του διοξειδίου του άνθρακα. Ακόμα και στις χωματερές όπου γίνεται συλλογή του μεθανίου, περίπου το 50% του αερίου διαφεύγει στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα η επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου να είναι πιο σημαντική απ' ό,τι στην καύση.

Διάθεση της τέφρας: Αν και η καύση οδηγεί σε δραστική μείωση του όγκου των ΑΣΑ και της ιλύος, παραμένει ωστόσο κάποια ποσότητα τέφρας η οποία u952 θα πρέπει να διατεθεί και η διάθεσή της αυτή δημιουργεί συχνά προβληματισμό. Πρακτικά η ποσότητα της παραγόμενης τέφρας ισούται με το αδρανές ποσοστό των στερεών. Κατά την αποτέφρωση οι οργανικές ενώσεις καταστρέφονται. Η εμπειρία δείχνει ότι τα οργανικά της τέφρας αντιπροσωπεύουν υπό κανονικές συνθήκες λιγότερο από το 1% της μάζας της, με τα PCDD's και PCDF's συχνά σε μη ανιχνεύσιμες συγκεντρώσεις. Η τέφρα αποτελείται κυρίως από οξείδια του πυριτίου, του αλουμινίου και του σιδήρου.

Τα βαρέα μέταλλα παραμένουν στην τέφρα στο βαθμό που δεν φεύγουν μαζί με τα αέρια. Η συγκράτηση του υδραργύρου από την τέφρα είναι πολύ χαμηλή (0.5%) καθώς παραμένει στους ατμούς. Για τα περισσότερα από τα υπόλοιπα βαρέα μέταλλα (Zn, Cu, Pb, Cr, Ni, Cd) έχει βρεθεί ότι τα ποσοστά τα οποία συγκρατούνται στην τέφρα είναι υψηλά, μεταξύ 60-100%, με την προϋπόθεση ότι λειτουργεί ένα αποτελεσματικό σύστημα επεξεργασίας των αερίων. Δεδομένου ότι επιτυγχάνεται μία σημαντική μείωση των στερεών κατά την καύση, οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στην τέφρα είναι συνήθως υψηλότερες από τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις στα ΑΣΑ και την ιλύ. Παρά το γεγονός ότι η τέφρα έχει αυξημένες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, έχει βρεθεί ότι η διάθεση σε χωματερές είναι μία αποδεκτή μέθοδος διάθεσης η οποία δεν δημιουργεί σημαντικά προβλήματα ρύπανσης λόγω διηθημάτων, ή εν πάση περιπτώσει προβλήματα ανάλογα με αυτά που δημιουργούνται από την διάθεση στερεών αποβλήτων και ιλύων σε χωματερές. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι η καύση μετατρέπει τα κινητικά βαρέα μέταλλα σε πιο σταθερές μορφές, αποτρέποντας έτσι, όπως έχει αποδειχθεί από αρκετές δοκιμές, την εκτεταμένη διαφυγή της με τα στραγγίδια. Το αρσενικό, το κάδμιο, ο χαλκός, ο υδράργυρος, το νικέλιο, ο μόλυβδος και ο ψευδάργυρος βρέθηκαν να ξεπλένονται σε ποσότητες που αντιστοιχούν σε λιγότερο από το 1% της ολικής περιεκτικότητας στην τέφρα, ενώ μεγαλύτερες τιμές παρατηρήθηκαν για το ασβέστιο και το μολυβδένιο.

Δύο είναι οι σημαντικότεροι παράγοντες που οδηγούν στο ξέπλυμα των βαρέων μετάλλων. Ο πρώτος που αφορά τέφρα από καύση ιλύος συνδέεται με τη χρήση χημικών (Fe ή Al) κατά την επεξεργασία των λυμάτων. Έχει παρατηρηθεί ότι η προσθήκη αλάτων αυτών των στοιχείων αυξάνει σημαντικά τη διαλυτότητα των Cd,

Cr, Ni και Pb και πιθανά και άλλων μετάλλων. Ο δεύτερος παράγοντας συνδέεται με την υιοθετούμενη μέθοδο διάθεσης σε χωματερή.

Η συνδιάθεση της τέφρας με αστικά απορρίμματα μπορεί να ενισχύσει την διήθηση των βαρέων μετάλλων λόγω δημιουργίας οργανικών οξέων προερχομένων από την αναερόβια αποσύνθεση των αστικών απορριμμάτων (αν και η παραγωγή υδροθείου και η συνεπαγόμενη δημιουργία αδιάλυτων θειούχων ενώσεων των μετάλλων εν μέρει εξισορροπεί τις επιπτώσεις από τα οργανικά οξέα). Γι' αυτό το λόγο το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο προτείνει την αναθεώρηση της οδηγίας για τη διάθεση σε χωματερές με στόχο την αποτροπή της συνδιάθεσης και για να περιορίσει την επιτρεπόμενη περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα της τέφρας που διατίθεται σε χωματερές. Λαμβάνοντας υπόψη τα προαναφερθέντα, προτείνεται η συνδιάθεση να αποφευχθεί και η τέφρα από την εγκατάσταση καύσης να διατίθενται σε χωριστή χωματερή.

Στο μέλλον είναι δυνατό να εξετασθούν και κάποιες εναλλακτικές δυνατότητες. Η ανάκτηση των μετάλλων από την τέφρα με χημική επεξεργασία φαίνεται ότι είναι αντισυμβατική, αλλά η σύντηξη της τέφρας χρησιμοποιώντας θερμότητα και τσιμέντο μπορεί να αποδειχθεί μία ελκυστική μακροπρόθεσμη λύση για τον έλεγχο των περιεχομένων βαρέων μετάλλων.

Υγρά Απόβλητα: Αυτά δημιουργούνται κυρίως κατά την επεξεργασία των απαερίων και αποτελούνται από νερό που περιέχει χρησιμοποιημένα χημικά αντιδραστήρια και μερικά σωματίδια. Επίσης λύματα λιγότερο μολυσμένα, προέρχονται από τη δεξαμενή στην οποία ψύχεται η τέφρα. Αυτές οι εκροές μπορούν να διοχετευθούν στην είσοδο μιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων, αλλά ίσως είναι σκοπιμότερη η κατασκευή μίας χωριστής εγκατάστασης επεξεργασίας των υγρών αυτών αποβλήτων (με μονάδες κατακρήμνισης των μετάλλων) έτσι ώστε να αποφεύγεται η συσσώρευση των βαρέων μετάλλων στην κυρίως εγκατάσταση.^[21]

2.9 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα καύσης

Η καύση αποτελεί μια από τις δημοφιλέστερες μεθόδους διάθεσης αστικών αποβλήτων εδώ και πολλά χρόνια, ενώ έχει εφαρμοστεί σε πολλές χώρες και αυτό λόγω των σημαντικών πλεονεκτημάτων της, τα οποία απαριθμούνται παρακάτω :

- Με την καύση των οικιακών απορριμμάτων επιτυγχάνεται μείωση του αρχικού όγκου τους κατά 70 - 80% και του αρχικού βάρους κατά 40%

επιτυγχάνοντας σε ικανοποιητικό βαθμό έναν από τους βασικούς στόχους όλων των μεθόδων ανάκτησης υλικών ή ενέργειας από τα απορρίμματα, την ελαχιστοποίηση δηλαδή των απορριμμάτων που οδηγούνται προς ταφή. Αυτό οδηγεί στο να θεωρείται η καύση ως η πιο ενδεδειγμένη μέθοδος σε ορισμένες πυκνοκατοικημένες (αλλά χωρίς προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης) περιοχές του εξωτερικού όπου είναι δύσκολο να ευρεθεί χώρος υγειονομικής ταφής ακόμα και μακριά από κατοικημένες περιοχές. Πέρα απ' αυτό η καύση, με ορισμένες παραλλαγές ως προς την προαναφερθείσα είναι η μόνη ενδεδειγμένη και υποχρεωτική μέθοδος ασφαλούς διάθεσης του πλέον μολυσματικού μέρους των αστικών απορριμμάτων, των μολυσματικών δηλαδή νοσοκομειακών απορριμμάτωντα οποία σύμφωνα και με την ισχύουσα νομοθεσία πρέπει να συλλέγονται και να διατίθενται χωριστά από τα υπόλοιπα αστικά απορρίμματα.

- Η παραγωγή ενέργειας (από την ανάκτηση της θερμότητας των παραγόμενων καυσαερίων) είναι επίσης ένα από τα πολύ θετικά στοιχεία της μεθόδου προς την κατεύθυνση επίλυσης των ενεργειακών προβλημάτων του πλανήτη.

Ωστόσο, η μέθοδος της καύσης των απορριμμάτων, παρουσιάζει και αρκετά μειονεκτήματα, τα οποία είναι ιδιαίτερα σημαντικά, όπως :

- Το μεγαλύτερο μειονέκτημα των εγκαταστάσεων καύσης και το οποίο περιορίζει σημαντικά της δυνατότητες εφαρμογής της, είναι η ατμοσφαιρική ρύπανση. Τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά των ρυπαντών εξαρτώνται βέβαια από τη σύσταση των οικιακών απορριμμάτων που ποικίλει από χώρα σε χώρα. Κατά μέσο όρο όμως και σε ότι αφορά το HCl και τα αιωρούμενα σωματίδια, αυτά βρίσκονται σε αισθητά μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από τις ποσότητες που εκλύονται από την καύση θερμικά ισοδύναμης ποσότητας άνθρακα. Το υδροχλώριο οφείλεται στην παρουσία του PVC στα απορρίμματα και εκτός από τα προβλήματα ρύπανσης, δημιουργεί και διάβρωση της εγκατάστασης. Επίσης, από την καύση του PVC εκλύεται και η διοξίνη που είναι τοξικότατη ουσία. Η σκόνη, αν και βρίσκεται σε μικρότερη αρχική συγκέντρωση στα καυσαέρια, χαρακτηρίζεται από περιεκτικότητα μεγάλου ποσοστού βαρέων μετάλλων και είναι δύσκολο να συγκρατηθεί αποτελεσματικά, λόγω του μεγέθους των σωματιδίων. Τα οξείδια του αζώτου και του θείου βρίσκονται συνήθως σε συγκεντρώσεις ίσες ή μικρότερες από τις αντίστοιχες των συμβατικών καυσίμων. Πρέπει επίσης να τονισθεί ότι η υψηλή τοξικότητα της ιπτάμενης τέφρας αναγνωρίζεται πλέον σήμερα ακόμα και από τους πιο ένθερμους

υποστηρικτές της καύσης, ενώ τα υπολείμματα της καύσης στην πράξη αντιμετωπίζονται ως επικίνδυνα απόβλητα από τους διαχειριστές των χώρων ταφής όπου καταλήγουν. Για την κατασκευή λοιπόν μιας σύγχρονης εγκατάστασης καύσης που να περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα μέσα, για τον περιορισμό σε ανεκτά επίπεδα όλων αυτών των αέριων ρυπογόνων εκπομπών, μέσα στα αυστηρότατα πλαίσια που καθορίζονται από την Οδηγία 2000/76/ΕΕ της Ευρωπαϊκής Ένωσης, προκύπτουν τεράστιες δαπάνες εγκατάστασης και λειτουργίας.

- Η μέση περιεκτικότητα των Ελληνικών αστικών απορριμμάτων σε υγρασία κυμαίνεται από 55% και τους θερινούς μήνες φτάνει στο 65%, ενώ σε στερεές καύσιμες ύλες μετά βίας φτάνει το 30%. Το μεγάλο αυτό ποσοστό υγρασίας και η μικρή θερμογόνο δύναμη των απορριμμάτων αυτών (1000 - 1200 kcal/kg), απαιτούν την καύση μεγάλων αναλογικά ποσοτήτων πετρελαίου για να επιτευχθεί η καύση των απορριμμάτων, με αποτέλεσμα να καθιστούν τη μέθοδο ασύμφορη τουλάχιστο για την ανάκτηση ενέργειας.

- Μια μονάδα καύσης, όσο καλά κι αν κατάφερνε να προσαρμοστεί στις ελληνικές συνθήκες, πέρα από το σημαντικό υλικό κόστος λειτουργίας, θα είχε και προβλήματα από την πολύ έντονη εποχιακή διακύμανση της φυσικής σύνθεσης των απορριμμάτων.

- Επίσης, είναι απαραίτητη η ύπαρξη έκτασης γης κοντά στο χώρο των εγκαταστάσεων καύσης για την υγειονομική ταφή της τέφρας με, ανάλογα της τοξικότητάς της, μέτρα ασφαλούς διάθεσης. Ο χώρος αυτός θα πρέπει να μπορεί να δέχεται και ολόκληρη την ποσότητα των απορριμμάτων σε περίπτωση βλάβης της εγκατάστασης.

- Οι πιθανότητες βλάβης της εγκατάστασης καύσης είναι αρκετά μεγάλες εξαιτίας του χαρακτήρα του καυσίμου (διαβρωτικό, ογκώδες κλπ), γεγονός που συνεπάγεται πρόσθετη οικονομικά επιβάρυνση για τη συντήρηση και τις επισκευές της.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΥΡΟΛΥΣΗ

3.1 Εισαγωγή

Η πυρόλυση αποτελεί μια σχετικά νέα θερμική διεργασία, η οποία αν και αναπτύχθηκε στα τέλη του 19^{ου} αιώνα, μόλις τα τελευταία 20-30 χρόνια άρχισε να εφαρμόζεται στην επεξεργασία των απορριμμάτων. Γενικά, δεν αποτελεί μια ιδιαίτερα διαδεδομένη μέθοδο θερμικής επεξεργασίας απορριμμάτων, τουλάχιστον στην Ευρώπη, λόγω της μειωμένης ενεργειακής απόδοσης και οικονομικής βιωσιμότητάς της. Παρόλα αυτά άλλες χώρες εκτός Ευρώπης όπως είναι η Ιαπωνία διαθέτουν εγκαταστάσεις πυρόλυσης στερεών απορριμμάτων, οι οποίες λειτουργούν αποδοτικά εδώ και πολλά χρόνια γεγονός το οποίο πιθανότατα οφείλεται στις διαφορές των χαρακτηριστικών των απορριμμάτων τους (π.χ. ως προς το ποσοστό του οργανικού κλάσματος και τη θερμογόνο δύναμή τους), σε σχέση με εκείνα των Ευρωπαϊκών χωρών.

3.2 Περιγραφή της διαδικασίας

Οι περισσότερες οργανικές ουσίες είναι θερμικά ασταθείς, οπότε κατά τη θέρμανσή τους απουσία οξυγόνου διαχωρίζονται μέσω ενός συνδυασμού θερμικής διάσπασης και συμπύκνωσης σε αέρια, υγρά και στερεά κλάσματα. Η πυρόλυση ουσιαστικά είναι η θερμική διάσπαση σε πλήρη απουσία οξυγόνου ενός σύνθετου οργανικού υλικού (χημικής ένωσης) σε επί μέρους πτητικά μέρη. Περιλαμβάνει τη θέρμανση απουσία οξυγόνου ή την καύση με περιορισμένη παροχή οξυγόνου και οδηγεί στην παραγωγή ενός αερίου μίγματος υδρογονανθράκων, ενός ελαιώδους υγρού και ενός στερεού υπολείμματος μεγάλης περιεκτικότητας σε άνθρακα.

Σε αντίθεση με τις διαδικασίες καύσης και εξαερίωσης που είναι ιδιαίτερα εξώθερμες, η πυρόλυση είναι ενδόθερμη, και απαιτεί εξωτερική πηγή θερμότητας. Για αυτό το λόγο πολλές φορές χρησιμοποιείται ο όρος *καταστρεπτική απόσταξη* ως εναλλακτική ονομασία.

Πρακτικά δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί περιβάλλον πλήρους απουσίας οξυγόνου. Στην πραγματικότητα τα πυρολυτικά συστήματα λειτουργούν με ποσότητα οξυγόνου μικρότερη από τη στοιχειομετρική και επομένως η οξείδωση είναι αναπόφευκτη. Στην περίπτωση που τα απόβλητα περιέχουν πτητικές ή ημιπτητικές

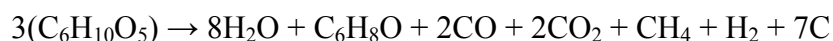
ουσίες προκαλείται εξαερίωση αυτών. Η πυρόλυση μετατρέπει τις οργανικές ουσίες σε αέρια συστατικά (Σχήμα 3.1), μικρή ποσότητα υγρών και σε ένα στερεό υπόλειμμα άνθρακα και στάχτης.

Συνοπτικά, σε μια εγκατάσταση πυρόλυσης λαμβάνουν χώρα τα εξής σε κάθε βαθμίδα θερμοκρασίας:

- ξήρανση των στερεών αποβλήτων (100 - 200°C),
- αρχική διάσπαση ενώσεων, έναρξη διάσπασης του υδρόθειου και του διοξειδίου του άνθρακα (250°C),
- διάσπαση των συνδέσμων των αλιφατικών ενώσεων - έναρξη του διαχωρισμού του μεθανίου και άλλων αλιφατικών ενώσεων (340°C),
- εμπλουτισμός του παραγόμενου υλικού σε άνθρακα (380°C),
- διάσπαση των δεσμών άνθρακα - οξυγόνου και άνθρακα - αζώτου (400°C),
- μετατροπή των πισσασφαλούχων υλικών σε καύσιμη ύλη και πίσσα (400 - 600°C),
- σχάση των πισσασφαλούχων υλικών σε υλικά ανθεκτικά στη θερμότητα - δημιουργία αρωματικών ενώσεων (600°C),
- παραγωγή αρωματικών ενώσεων, διαδικασίες αφυδρογόνωσης οργανικών π.χ. βουταδιενίου κλπ (>600°C).^{[13][20]}

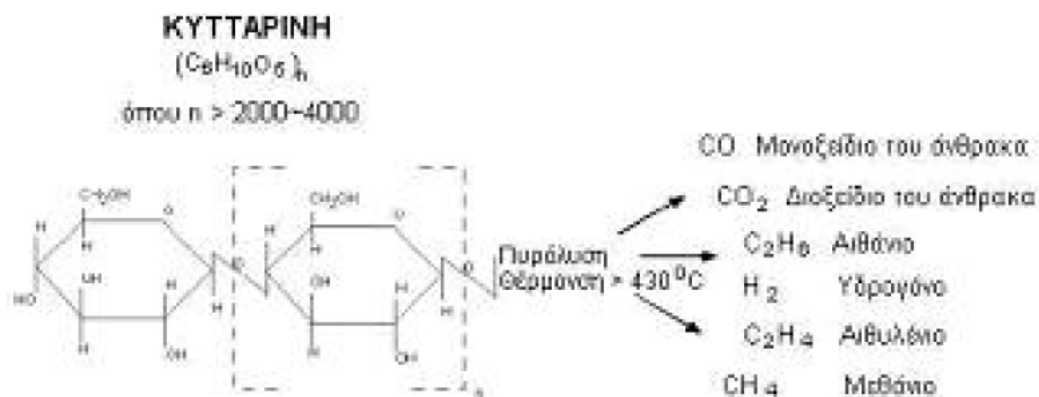
Αναλυτικότερα τα απορρίμματα όταν εισέλθουν στον αντιδραστήρα θερμαίνονται και ξηραίνονται στους 100°C όπου απομακρύνεται το νερό με την μορφή του ατμού. Αυξανόμενη της θερμοκρασίας αρχίζει η πυρολυτική διαδικασία. Ελευθερώνονται οι υδρογονάνθρακες έως ότου μείνει ένα στερεό υπόλειμμα το κωκ. Τα παραγόμενα αέρια της πυρόλυσης λαμβάνουν την υψηλή θερμοκρασία και διασπώνται σε χαμηλομοριακούς υδρογονάνθρακες.

Το υψηλό ποσοστό (~60%) των οργανικών (χαρτί, απορρίμματα κουζίνας, δέρμα, ύφασμα, ξύλο, ελαστικά επίσωτρα) και της υγρασίας (~30%) καθιστούν τη μέθοδο εφαρμόσιμη. Για την κυτταρίνη, C₆H₁₀O₅, η ακόλουθη ενδόθερμη αντίδραση έχει προταθεί σαν αντιπροσωπευτική της διαδικασίας πυρόλυσης:



Στην προηγούμενη εξίσωση το υγρό κλάσμα που συνήθως παράγεται αντιπροσωπεύεται από την έκφραση C₆H₈O. Έχει βρεθεί ότι η διανομή των παραγώγων κλασμάτων ποικίλει ανάλογα με την θερμοκρασία στην οποία γίνεται η

πυρόλυση. Η περιεχόμενη ενέργεια του λαδιού πυρόλυσης είναι περίπου 21.000 kJ/kg.



Σχήμα 3.1: Διάσπαση κυτταρίνης σε αέρια προϊόντα με τη μέθοδο της πυρόλυσης

Τα τρία βασικά κλάσματα που παράγονται από την διαδικασία της πυρόλυσης είναι:

- Ένα ρεύμα αερίων, που περιέχει βασικά υδρογόνο, μεθάνιο, μονοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα, και διάφορα άλλα αέρια ανάλογα με τα οργανικά χαρακτηριστικά των απορριμμάτων.
- Ένα υγρό κλάσμα ελαιώδες, με υψηλή πυκνότητα και ιξώδες, που αποτελείται από ένα ρεύμα πίσσας ή λαδιού που περιέχει απλά καρβοξυλικά οξέα(π.χ. οξικό οξύ),κετόνες (π.χ. ακετόνη), αλκοόλες (π.χ. μεθανόλη) και σύμπλεγμα οξυγονωμένων υδατανθράκων. Με περαιτέρω επεξεργασία, το υγρό κλάσμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν συνθετικό καύσιμο.
- Ένα υπόλειμμα, το οποίο αποτελείται από σχεδόν καθαρό άνθρακα και όποιο αδρανές υλικό υπήρχε αρχικά στα στερεά απορρίμματα.^[21]

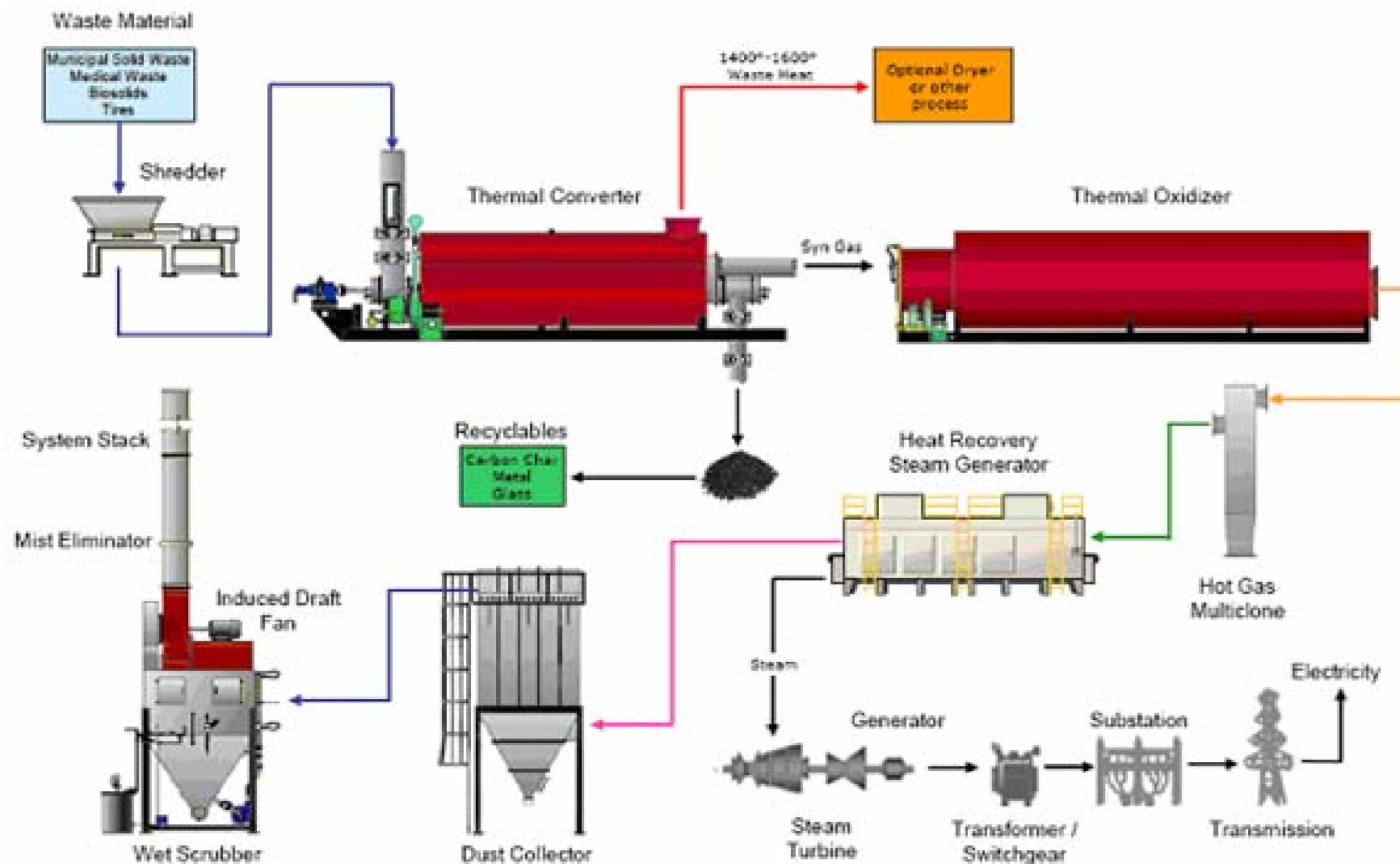
Τα παραγόμενα προϊόντα διαφέρουν στη σύνθεση τους και εξαρτώνται από τη θερμοκρασία της αντίδρασης, την πίεση στον αντιδραστήρα και την ποσότητα του αέρα η οποία εισέρχεται στον αντιδραστήρα. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η σύνθεση του παραγόμενου αερίου σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Το αέριο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμη ύλη γιατί δεν περιέχει σωματίδια και οργανικά οξέα. Το αέριο της πυρόλυσης χρησιμοποιείται αποκλειστικά στους θαλάμους μετάκαυσης.^[14]

Πίνακας 3.1: Σύνθεση αερίου πυρόλυσης

| Σύνθεση αερίου | Θερμοκρασίες Πυρόλυσης (°C) | | | |
|-------------------------------|-----------------------------|--------|--------|-------|
| | 500 | 650 | 800 | 900 |
| H ₂ | 5.56 | 16.58 | 28.55 | 32.48 |
| CH ₄ | 12.43 | 15.91 | 13.73 | 10.45 |
| CO | 33.50 | 30.49 | 34.12 | 35.25 |
| CO ₂ | 44.77 | 31.78 | 20.59 | 18.31 |
| C ₂ H ₄ | 0.45 | 2.18 | 2.24 | 2.43 |
| C ₂ H ₆ | 3.03 | 3.06 | 0.77 | 1.07 |
| Σύνολο | 99.74 | 100.00 | 100.00 | 99.99 |

Πηγή: [21]

Η άνοδος της θερμοκρασίας πυρόλυσης μεγαλώνει την περιεκτικότητα σε υδρογόνο και αιθυλένιο ενώ μειώνει την περιεκτικότητα σε διοξείδιο του άνθρακα.



Σχήμα 3.2: Σχηματική αναπαράσταση εγκατάστασης πυρόλυσης
Πηγή: [15]

Όπως προαναφέρθηκε οι χημικές αντιδράσεις της πυρόλυσης είναι ενδόθερμες (σε αντίθεση με αυτές της καύσης) και η ενέργεια που παράγεται είναι τέσσερις φορές μεγαλύτερη από την απαιτούμενη για την πυρόλυση θερμότητα. Από το παραγόμενο λοιπόν αέριο, ένα μέρος χρησιμοποιείται για να καλύψει τις ανάγκες της εγκατάστασης σε ενέργεια και το υπόλοιπο μπορεί να καεί επί τόπου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη βοήθεια αεριοστροβίλου ή και να πουληθεί.

3.2.1 Περιγραφή μονάδας πυρόλυσης

Μια μονάδα πυρόλυσης αποτελείται από τέσσερις φάσεις, οι οποίες φαίνονται στο διάγραμμα ροής του Σχήματος 3.3. Οι φάσεις αυτές είναι :

1. Υποδοχή, τεμαχισμός, πυρόλυση
2. Ψύξη και διαχωρισμός υπολείμματος
3. Παραγωγή ατμού
4. Καθαρισμός των αερίων



Σχήμα 3.3: Διάγραμμα ροής φάσεων πυρόλυσης

Η τροφοδοσία είναι συνεχής σε ένα κλίβανο και τα εξερχόμενα αέρια περνάνε πάνω από τα εισερχόμενα απορρίμματα για να υποβοηθηθεί η πυρόλυση.

Χρειάζονται μεγάλες ποσότητες βοηθητικού καυσίμου. Τα εξερχόμενα αέρια περνάνε σε άλλη μονάδα καύσης όπου αναμειγνύονται με τον αέρα και καίγονται. Η θερμοκρασία σε αυτή τη φάση είναι πολύ υψηλή (1000OC). Στη συνέχεια περνούν από ένα εναλλάκτη θερμότητας για την παραγωγή ατμού. Τα αέρια πριν διοχετευθούν στην ατμόσφαιρα πρέπει να καθαριστούν αλλά η διαδικασία είναι απλούστερη από ότι στην περίπτωση της καύσης, διότι τα αιωρούμενα σωματίδια είναι πολύ λιγότερα. Η μονάδα αυτή παράγει αέριο με χαμηλή θερμογόνο δύναμη αλλά λόγω της πολύ χαμηλής περιεκτικότητάς του σε αιωρούμενα σωματίδια έχει το πλεονέκτημα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί μαζί με το φυσικό αέριο. Πρέπει να σημειωθεί ότι επέρχεται μεγάλη μείωση του όγκου των απορριμμάτων μέχρι και 95% του αρχικού, καθώς επίσης και του βάρους μέχρι 75%.

3.2.2 Τύποι κλιβάνων

Υπάρχουν διάφοροι τύποι φούρνων πυρόλυσης. Ο οικονομικότερος είναι ο κατακόρυφος (Nertical Shaft), στον οποίο η πρώτη ύλη προσάγεται από την κορυφή και κατακάθεται με τη βαρύτητα. Τα αέρια από την πυρόλυση συγκεντρώνονται στην κορυφή του φούρνου και απάγονται με σωλήνα προς το αεριοφυλάκιο, αφού προηγουμένως περάσουν από οξέα (Acid Scrubbers) αλκάλια (Caustic Scrubbers), για να απαλλαγούν από ανεπιθύμητες προσμίξεις. Τα καύσιμα, στερεά και υγρά, συλλέγοντα στον πυθμένα του φούρνου. Άλλοι τύποι είναι οι οριζόντιοι, οι κλίβανοι περιστροφικού τυμπάνου και οι κλίβανοι ρευστοποιημένης κλίνης (Fluidized Bed Combustion).

3.2.3 Έλεγχος μονάδων πυρόλυσης

Για την επιτυχή λειτουργία της εγκατάστασης πυρόλυσης, απαιτείται συνεχής έλεγχος, λόγω των σύνθετων διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα κατά την ανάπτυξη της μεθόδου. Επίσης, απαιτείται συνεχής τροφοδοσία σε στερεά απόβλητα, τα οποία δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις ως προς τη σύστασή τους και δεν περιέχουν μέταλλα και γυαλί (εισαγωγή αποβλήτων μετά από επιτυχή εφαρμογή διαλογής στην πηγή ή μηχανικής διαλογής). Ακόμη, απαιτείται ιδιαίτερος έλεγχος ώστε τα παραγόμενα υγρά προϊόντα να πληρούν τις προδιαγραφές εμπορικού καυσίμου (λόγω κυρίως της περιεχόμενης σε αυτά υγρασίας).

Ο έλεγχος των μονάδων θερμικής επεξεργασίας επιτυγχάνεται κυρίως:

- με διορθωτικό σύστημα (η διόρθωση βασίζεται στις μετρήσεις) και
- με προχωρημένο σύστημα (ο έλεγχος προσαρμόζεται στα εισαγόμενα απορρίμματα).

Ένα αποτελεσματικό σύστημα ελέγχου πρέπει να προλαμβάνει και να αποκλείει τις αρνητικές συνέπειες από την αρχή, δηλαδή πριν φθάσουν τα απορρίμματα στο σύστημα τροφοδοσίας των εσχάρων. Οι βασικές αποκλίσεις προέρχονται κυρίως από τη θερμογόνο τιμή, την υγρασία των απορριμμάτων κ.λ.π.

Σε κάθε έλεγχο λειτουργίας της εγκατάστασης προσδιορίζονται οι εξής παράμετροι:

- ροή αέρα και ατμού,
- πίεση ατμού και αερίων,
- θερμοκρασίες στην εστία καύσης,
- τροφοδοσία και κατανομή του αέρα στον λέβητα,
- σύνθεση καπναερίων,
- θερμοκρασίες καπναερίων,
- τροφοδοσία χημικών για το σύστημα καθαρισμού αερίου.

Με τη μέθοδο της πυρόλυσης επιτυγχάνεται ελάττωση του όγκου καθώς και του βάρους των διατιθέμενων απορριμμάτων, παραγωγή καύσιμης ύλης αλλά και μετατροπή αυτών σε τελικά προϊόντα που διατιθέμενα δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον. Η ενδόθερμη αυτή τεχνική μπορεί να εφαρμοστεί στα οικιακά απορρίμματα, αλλά στο παρόν στάδιο, η εφαρμογή της μεθόδου σε ευρεία κλίμακα είναι περιορισμένη.

3.3 Εκπομπές από μονάδες Πυρόλυσης

Σημαντικά προβλήματα εμφανίζονται σε μια εγκατάσταση πυρόλυσης στον καθαρισμό του αερίου προϊόντος. Αν και πραγματοποιείται διεργασία καθαρισμού, οι οργανικές ενώσεις μέσα σε αυτό δεν ελέγχονται αποτελεσματικά.

Η πυρόλυση των στερεών αποβλήτων πραγματοποιείται σε πιο χαμηλή θερμοκρασία από την καύση και δίνει σαν υποπροϊόντα:

Σκόνες

Είναι πιο εύκολες στην επεξεργασία από αυτές που προκύπτουν από την συμβατική καύση, διότι είναι πιο λεπτές και πιο συγκεντρωμένες.

Αέρια

Αποτελούνται κυρίως από υδρογόνο H_2 , μεθάνιο CH_4 , μονοξείδιο του άνθρακα CO , διοξείδιο του άνθρακα CO_2 και διάφορα άλλα αέρια, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των στερεών αποβλήτων. Τα αέρια αυτά είναι καύσιμα και η θερμογόνο δύναμη τους βρίσκεται μεταξύ των 3000 και 5000 kcal/Nm³. Δεν περιέχουν πρακτικά οξείδιο του αζώτου.

Υγρά

Το υγρό κλάσμα, είναι ελαιώδες με υψηλή πυκνότητα και ιξώδες και περιέχει απλά καρβοξυλικά οξέα (π.χ. οξικό οξύ), κετόνες (π.χ. ακετόνη), αλκοόλες (π.χ. μεθανόλη) καθώς και σύνθετους οξυγονωμένους υδρογονάνθρακες. Το ελαιώδες αυτό κατάλοιπο ονομάζεται συνθετικό πετρέλαιο και με περαιτέρω επεξεργασία το κλάσμα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συνθετικό καύσιμο. Κατά την επεξεργασία επιδιώκεται να απαλλαγεί από τα διαβρωτικά προϊόντα που περιέχει, θειούχα ή χλωριούχα.

Στερεά

Το στερεό υπόλειμμα αποτελείται από ένα μη οργανικό μέρος (μεταλλικό υπόστρωμα) και ένα οργανικό ποσοστό, το οποίο προορίζεται για καύσιμο ή για να μετατραπεί σε ενεργό άνθρακα. Ο διαχωρισμός των δύο αυτών ποσοστών είναι σύνθετος και πολύ ακριβός. Για το λόγο αυτό το ελαιώδες κατάλοιπο οδηγείται συνήθως για διάθεση.

Με βάση την αρχή στην οποία στηρίζεται η μέθοδος, δεν παρατηρούνται εκπομπές αερίων τέτοιες όπως παρουσιάζονται κατά την εφαρμογή της καύσης. Σε κάθε περίπτωση όμως, αναφορικά με τις επιτρεπτές τιμές στις παραγόμενες εκπομπές κατά την πυρόλυση, αυτές ταυτίζονται με το σύνολο των τεχνικών θερμικής επεξεργασίας των στερεών αποβλήτων και ισχύουν τα αναφερόμενα για τη μέθοδο της καύσης – αποτέφρωσης.

Η αναλογία των κλασμάτων εξαρτάται σημαντικά από τη σύσταση των εισερχομένων αποβλήτων, τη θερμοκρασία στην οποία διεξάγεται η πυρόλυση τον χρόνο αντίδρασης και την πίεση στον αντιδραστήρα. Η αύξηση της θερμοκρασίας μειώνει αισθητά το στερεό υπόλειμμα, ελαττώνει το υγρό κλάσμα και αυξάνει τα αέρια προϊόντα. Το ενεργειακό περιεχόμενο του υγρού κλάσματος εκτιμάται γύρω

στα 9 000 Btu/lb, ενώ του αερίου – σε συνθήκες μέγιστης παραγωγής – στα 700 Btu/ft³.^[13]

Πίνακας 3.2: Κατανομή αποβλήτων σε σχέση με τη θερμοκρασία πυρόλυσης

| Θερμοκρασία (°C) | Ποσοστό Αερίων Αποβλήτων (%) | Ποσοστό Υγρών Αποβλήτων (%) | Ποσοστό Στερεών Αποβλήτων (%) |
|---------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| 485 | 12.33 | 61.08 | 24.71 |
| 650 | 18.64 | 59.18 | 21.80 |
| 815 | 23.69 | 59.67 | 17.24 |
| 930 | 24.39 | 58.70 | 17.67 |

Πηγή: [21]

Με την άνοδο της θερμοκρασίας υπάρχει μεγάλη μείωση των στερεών υπολειμμάτων, μείωση των υγρών αποβλήτων και άνοδος των αερίων αποβλήτων.

3.4 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα πυρόλυσης

Η τεχνική της πυρόλυσης παρουσιάζει ουσιώδη πλεονεκτήματα όπως:

- Η θερμοκρασία διάσπασης είναι πολύ χαμηλότερη από τη θερμοκρασία καύσης, με ανάλογη πολύ μικρότερη θερμική καταπόνηση όλης της εγκατάστασης.
- Η διάσπαση γίνεται σε αναγωγική ατμόσφαιρα και όχι οξειδωτική όπως η καύση.
- Η περιεκτικότητα της τέφρας σε άνθρακα είναι πολύ μεγαλύτερη απ' ό,τι στην καύση.
- Τα μέταλλα που περιέχουν τα απορρίμματα δεν οξειδώνονται κατά την πυρόλυση και είναι πιο εύκολα εμπορεύσιμα.
- Το παραγόμενο αέριο αξιοποιείται σε άλλη εστία και ίσως σε άλλο χώρο από τον πυρολυτικό αντιδραστήρα.
- Από την καύση του αερίου της πυρόλυσης δεν παράγεται τέφρα και ο καθαρισμός των απαερίων είναι απλούστερος.
- Ο αρχικός όγκος των απορριμμάτων μειώνεται περισσότερο απ' ό,τι στην καύση.
- Άμεση ελαχιστοποίηση ή κατάργηση των ΧΥΤΑ.
- Δυνατότητα πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας.

Ωστόσο, η μέθοδος της πυρόλυσης των απορριμμάτων παρουσιάζει αρκετά μειονεκτήματα τα οποία είναι ιδιαίτερα σημαντικά όπως:

- Την απαίτηση για υψηλής τεχνολογίας και επένδυσης μηχανολογικές εγκαταστάσεις.
- Την απαίτηση για τεμαχισμό και διαχωρισμό των απορριμμάτων πριν την πυρόλυση που συνεπάγεται αρκετά υψηλό κόστος για την εγκατάσταση και τη λειτουργία της μονάδας.
- Επίσης, η συνεχής χρησιμοποίηση βοηθητικού καύσιμου για να γίνει η πυρόλυση, δρα σαν ανασταλτικός παράγοντας.
- Τα παράγωγα της πυρόλυσης έχουν αρκετά προβλήματα και σε καμία περίπτωση δεν μπορούν να διατεθούν στο περιβάλλον όπως έχουν.
- Οι εγκαταστάσεις καθαρισμού των αερίων και των υγρών αποβλήτων απαιτούν πολύ μεγάλο κόστος.

Η τεχνική της πυρόλυσης των απορριμμάτων είναι μια σχετικά νέα, αρκετά υποσχόμενη μέθοδος, η οποία όμως από εμπειρία εγκαταστάσεων που λειτουργούν κυρίως στις ΗΠΑ και την πρώην Δ. Γερμανία, δεν έχει δώσει ακόμα ικανοποιητικά αποτελέσματα σε εφαρμογές βιομηχανικής κλίμακας, ιδιαίτερα για τα οικιακά απορρίμματα. Μεγαλύτερες προοπτικές εξέλιξης δείχνουν πάντως να έχουν οι αντιδραστήρες μέσης θερμοκρασίας με τη μορφή περιστροφικού τυμπάνου ή ρευστοποιημένης κλίνης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ

4.1 Εισαγωγή

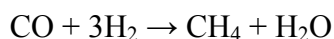
Η αεριοποίηση είναι ένας γενικός όρος που χρησιμοποιείται για την περιγραφή της μερικής καύσης, κατά την οποία ένα υλικό καίγεται με την παρουσία λιγότερου από τον στοιχειομετρικό αέρα. Αν και η διαδικασία έχει ανακαλυφθεί από τον δέκατο ένατο αιώνα και εφαρμόζεται με επιτυχία στη χημική βιομηχανία, μόλις πρόσφατα έχει χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία στερών απορριμμάτων σαν εναλλακτική για την αποφυγή των τοξικών αέριων εκπομπών και στερεών καταλοίπων που παράγονται κατά την στοιχειομετρική καύση.

4.2 Περιγραφή της διαδικασίας

Η αεριοποίηση είναι μια τεχνική για την μείωση του όγκου των απορριμμάτων και την ανάκτηση ενέργειας. Αφορά βασικά την μερική καύση υλικού πλούσιου σε άνθρακα για την παραγωγή ενός καυσίμου αερίου πλούσιου σε μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και μερικούς κορεσμένους υδρογονάνθρακες κυρίως μεθάνιο. Το μείγμα CO και H₂ είναι γνωστό σαν αέριο σύνθεσης (Synthesis Gas, SNG). Το καύσιμο αέριο που παράγεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κινητήρες εσωτερικής καύσης, στροβιλοφόρους κινητήρες αερίου ή λέβητα κάτω από συνθήκες περίσσειας αέρα.

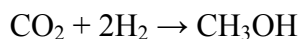
Η αεριοποίηση η οποία πραγματοποιείται σε ειδικούς αντιδραστήρες που ονομάζονται αεριοποιητές μπορεί να γίνει με αέρα ή O₂. Στην πρώτη περίπτωση η επεξεργασία πραγματοποιείται σε θερμοκρασία μεταξύ 900°C και 1100°C ενώ στη δεύτερη μεταξύ 1000°C και 1400°C. Στην πρώτη περίπτωση το τελικό αέριο περιέχει περίπου 40% N₂, πράγμα που μειώνει τη θερμαντική αξία του αερίου από 13 MJ/m³ σε 7 MJ/m³. Αξιοσημείωτο είναι ότι επειδή επιδιώκεται μετατροπή του αερίου σε κάποιο πιο χρήσιμο προϊόν, και συγκεκριμένα μεθανόλη ή αμμωνία υπό υψηλή πίεση, καλό είναι να αποφεύγεται η παρουσία του N₂, που είναι αδρανές.

Για τη μετατροπή του SNG πραγματοποιούνται οι αντιδράσεις:



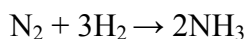
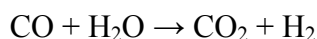
Η πρώτη αντίδραση είναι απαραίτητη για την αύξηση του H_2 στο μίγμα, στην αναλογία περίπου $1CO:3H_2$. Η δεύτερη είναι ισχυρά εξώθερμη αντίδραση γι' αυτό πρέπει να απάγεται θερμότητα, ώστε η θερμοκρασία να διατηρείται γύρω στους $400^\circ C$.

Η μετατροπή σε μεθανόλη γίνεται σύμφωνα με την αντίδραση:



Η αντίδραση αυτή, όπως και οι προηγούμενες, γίνεται παρουσία κατάλληλων καταλυτών. Το τελικό προϊόν περιέχει σαν πρόσμιξη αιθανόλη, νερό και ανώτερες αλκοόλες, αλλά η περιεκτικότητα σε μεθανόλη είναι 98% περίπου.

Για τη μετατροπή σε αμμωνία απαιτείται απομάκρυνση όλου του CO , το οποίο μετατρέπεται, κατά το μεγαλύτερο μέρος, σε CO_2 και δίνει H_2 :

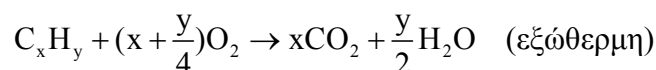


Η θερμότητα για την συντήρηση της διαδικασίας προέρχεται από τις εξωθερμικές αντιδράσεις, ενώ τα καύσιμα συστατικά προέρχονται από τις ενδοθερμικές αντιδράσεις.

Η ταχύτητα αντίδρασης αεριοποίησης εξαρτάται εκτός από τη θερμοκρασία και από το πορώδες, τη διάμετρο των πόρων και από την εσωτερική δομή της καύσιμης ύλης. Απορρίμματα που έχουν προέλθει από πυρόλυση αεριοποιούνται ευκολότερα από μη επεξεργασμένα απορρίμματα.

Συνολικά οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της αεριοποίησης, είναι οι εξής:

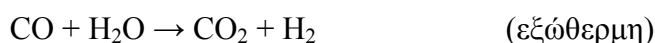
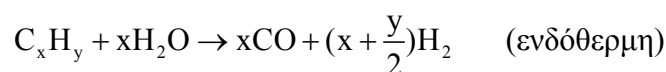
Οξείδωση



Αντίδραση Boudouard



Αντίδραση εξάτμισης νερού



Αντίδραση σχηματισμού μεθανίου



4.2.1 Αεριοποιητές

Υπάρχουν πέντε βασικοί τύποι αεριοποιητών:

- Κάθετης σταθερής κλίνης,
- Οριζόντιας σταθερής κλίνης,
- Ρευστοποιημένης κλίνης,
- Πολλαπλών εστιών,
- Περιστρεφόμενου κλιβάνου.

Από το σύνολο των πέντε αυτών τύπων εγκαταστάσεων, πιο διαδεδομένη είναι η ανάπτυξη εγκαταστάσεων κάθετης και οριζόντιας σταθερής κλίνης καθώς και ρευστοποιημένης κλίνης.

Οι εγκαταστάσεις κάθετης σταθερής κλίνης παρουσιάζουν πλεονεκτήματα, όπως απλότητα, αξιοπιστία, προσφέρουν υψηλή θερμική αποδοτικότητα και χαμηλό κόστος επένδυσης, αλλά επηρεάζονται άμεσα από τις διακυμάνσεις στη σύσταση των εισερχομένων αποβλήτων (θα πρέπει να παρουσιάζουν ομοιογένεια, π.χ. το RDF σε συμπυκνωμένη μορφή - pellets). Θεωρούνται οι πλέον ανταγωνιστικοί και ευρύτατα χρησιμοποιούμενοι, λειτουργούν σε ατμοσφαιρική πίεση και διαχωρίζονται κυρίως στους αεριοποιητές ανοδικού και καθοδικού ρεύματος αερίου.

Ο αεριοποιητής ανοδικού ρεύματος αερίου είναι ένας κατ' αντιρροή αντιδραστήρας (δηλαδή το καύσιμο και το παραγόμενο αέριο ρέουν προς αντίθετες κατευθύνσεις), όπου η τροφοδοσία εισάγεται στην κορυφή του και το οξειδωτικό μέσο εισάγεται στον πυθμένα. Τα στερεά μετατρέπονται σε καύσιμο αέριο κατά την καθοδική τους πορεία και η σειρά των διεργασιών που γίνονται από επάνω προς τα κάτω είναι: ξήρανση, πυρόλυση, αναγωγή και καύση. Στη ζώνη καύσης η θερμοκρασία του αντιδραστήρα ξεπερνά τους 1200°C. Ως αποτέλεσμα της διαμόρφωσης του αντιδραστήρα, οι παραγόμενες στη ζώνη πυρόλυσης πίσσες μεταφέρονται προς τα επάνω από το ρέον ζεστό παραγόμενο αέριο και το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή αερίου υψηλής περιεκτικότητας σε πίσσες και χαμηλής σε αιωρούμενα σωματίδια.^[16]

Ο αεριοποιητής καθοδικού ρεύματος αερίου είναι ένας κατ' ομορροή αντιδραστήρας (δηλαδή το καύσιμο και το παραγόμενο αέριο ρέουν μαζί προς το

κάτω τμήμα του αντιδραστήρα), στον οποίο η τροφοδοσία εισάγεται στην κορυφή του, το οξειδωτικό μέσο από τα πλάγια και πιο πάνω από την εσχάρα, ενώ το παραγόμενο καύσιμο αέριο αποσύρεται – εξάγεται κάτω από την εσχάρα. Ως αποτέλεσμα της διαμόρφωσης του αντιδραστήρα, τα παραγόμενα στο στάδιο της πυρόλυσης αέρια επιτρέπουν την αποτελεσματική θερμική διάσπαση των πισσών. Έτσι η περιεκτικότητα του αερίου προϊόντος σε πίσσες είναι χαμηλή, από την άλλη όμως είναι υψηλή όσον αφορά τα αιωρούμενα σωματίδια. Επίσης, λόγω του ότι η θερμοκρασία του προϊόντος είναι 900 - 1000°C, η ενεργειακή απόδοση του αντιδραστήρα είναι χαμηλή σε σχέση με τον αντιδραστήρα ανοδικού ρεύματος αερίου.^[16]

Αναφορικά με τις εγκαταστάσεις οριζόντιας σταθερής κλίνης, αυτές αποτελούν τον ευρύτερα διαδεδομένο τύπο στο εμπόριο. Η εγκατάσταση αποτελείται από δύο μέρη: (α) τον κύριο θάλαμο αεριοποίησης και (β) τον θάλαμο καύσης. Στον πρώτο θάλαμο επιτελείται η διεργασία της αεριοποίησης και το αέριο που παράγεται καίγεται πλήρως στο δεύτερο θάλαμο με περίσσεια αέρα σε θερμοκρασία 650 – 900°C. Τα καυσαέρια οδηγούνται για ανάκτηση θερμότητας με παραγωγή ατμού ή θερμού νερού. Η χαμηλή ταχύτητα και τύρβη στον πρώτο θάλαμο ελαχιστοποιούν την είσοδο σωματιδίων στο αέριο ρεύμα και οδηγούν σε χαμηλότερες εκπομπές σωματιδίων σε σχέση με τους συμβατικούς θαλάμους καύσης. Τέτοιες μονάδες είναι εμπορικά διαθέσιμες από διάφορους κατασκευαστές σε τυποποιημένα μεγέθη δυναμικότητας 100 – 8400 lb/h.

Οι αεριοποιητές ρευστοποιημένης κλίνης αναπτύχθηκαν αρχικά σε μια προσπάθεια να υπερβούν τα προβλήματα των αεριοποιητών σταθερής κλίνης, που είχαν σχέση με την τροφοδοσία υψηλής περιεκτικότητας σε τέφρα και την αύξηση της αποδοτικότητας της διεργασίας. Χαρακτηριστικό του τύπου αυτού των αεριοποιητών είναι ότι δεν διαθέτουν ζώνες στις οποίες λαμβάνει χώρα η κάθε ομάδα αντιδράσεων. Διαθέτουν μια ισοθερμική κλίνη, η οποία λειτουργεί σε θερμοκρασίες από 700-900°C και υφίστανται δυο διαφορετικές διαμορφώσεις: τους αεριοποιητές ρευστοστερεάς κλίνης τύπου φυσαλίδων, όπου η διόγκωση της κλίνης καταλαμβάνει το κατώτερο μέρος του αντιδραστήρα, ενώ η άμμος της κλίνης και το εξανθράκωμα δεν εξέρχονται του αντιδραστήρα, λόγω της χαμηλής χρησιμοποιούμενης ταχύτητας και οι αεριοποιητές τύπου ανακυκλοφορίας, όπου η διογκωμένη κλίνη καταλαμβάνει ολόκληρο τον αντιδραστήρα, ενώ ένα μέρος της άμμου και του εξανθρακώματος εξέρχονται του αντιδραστήρα μαζί με το ρεύμα του αερίου προϊόντος.

Πλεονεκτήματα αυτής είναι η υψηλή αποδοτικότητα εναλλαγής θερμότητας, η ομοιόμορφη και μέτρια θερμοκρασία και η μεγάλη ευελιξία χρήσης για ένα μεγάλο εύρος συνθέσεων τροφοδοσίας.^[16]

4.2.2 Εκπομπές από μονάδες αεριοποίησης

Τα τελικά προϊόντα της αεριοποίησης είναι:

- Αέριο πλούσιο σε μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και κορεσμένους υδρογονάνθρακες (κυρίως μεθάνιο) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο.
- Στερεό υπόλειμμα που αποτελείται από άνθρακα και αδρανή.
- Συμπυκνωμένο υγρό υπόλειμμα που παρουσιάζει σύσταση παρόμοια με αυτή του υγρού κλάσματος που παράγεται κατά την πυρόλυση.

Οι εγκαταστάσεις αεριοποίησης, όπως προαναφέρθηκε, μπορούν να λειτουργήσουν είτε με τροφοδοσία αέρα είτε με τροφοδοσία καθαρού οξυγόνου. Στην περίπτωση που υπάρχει τροφοδοσία με αέρα, λόγω της παρουσίας του ατμοσφαιρικού αζώτου, η θερμογόνος δύναμη του αέριου προϊόντος είναι χαμηλή και κυμαίνεται γύρω στα 150 Btu/ft³. Η δε τυπική σύστασή του είναι έχει ως εξής:

Πίνακας 4.1: Σύσταση αέριου προϊόντος αεριοποίησης με τροφοδοσία αέρα

| Ένωση | % κ.ο. |
|-----------------|--------|
| CO ₂ | 10 |
| CO | 20 |
| H ₂ | 15 |
| CH ₄ | 2 |
| N ₂ | 53 |

Πηγή: [17]

Στην περίπτωση που η τροφοδοσία είναι καθαρό οξυγόνο, το ενεργειακό περιεχόμενο του αέριου προϊόντος ανεβαίνει στα 270 - 300 Btu/ft³. Η δε τυπική σύστασή του έχει ως εξής:

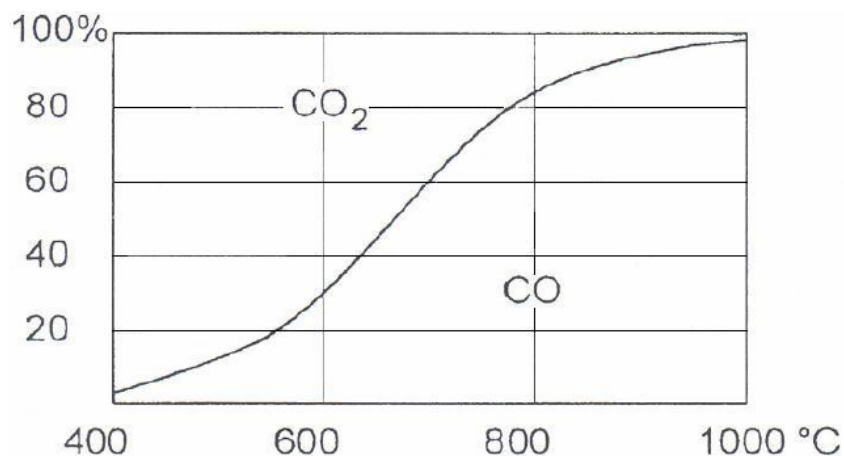
Πίνακας 4.2: Σύσταση αέριου προϊόντος αεριοποίησης με τροφοδοσία οξυγόνου

| Ένωση | % κ.ο. |
|-------------------------------|--------|
| CO ₂ | 14 |
| CO | 50 |
| H ₂ | 30 |
| CH ₄ | 4 |
| C _x H _y | 1 |

| | |
|----------------|---|
| N ₂ | 1 |
|----------------|---|

Πηγή: [17]

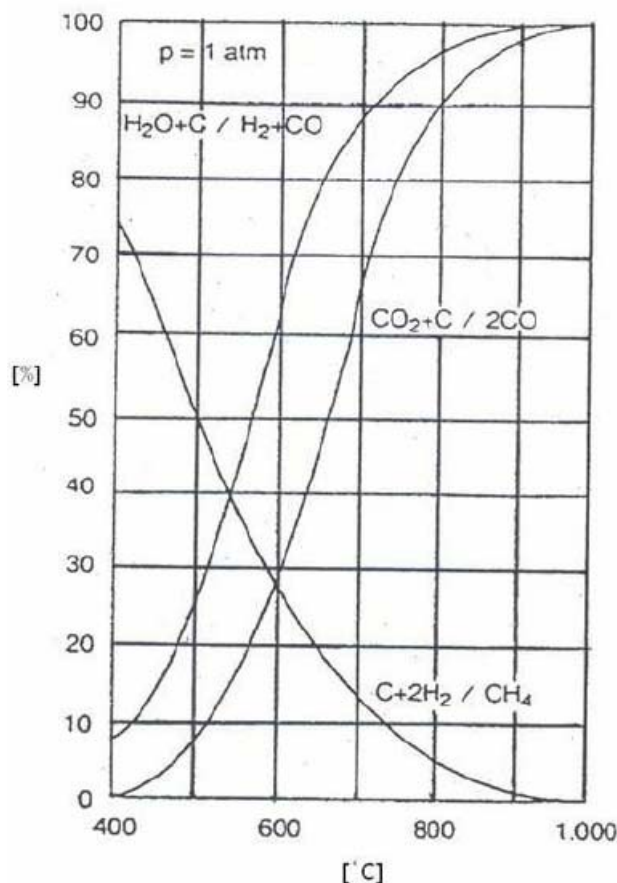
Στο διάγραμμα του Σχήματος 4.1 απεικονίζεται γραφικά η αναλογία CO/CO₂ σύμφωνα με την αντίδραση Boudouard, συναρτήσει της θερμοκρασίας.



Σχήμα 4.1: Ισορροπία της αντίδρασης Boudouard σε ατμοσφαιρική πίεση
Πηγή: [13]

Ανάλογα λαμβάνουν χώρα και άλλες αντιδράσεις στις οποίες με προσθήκη H₂O σε χαμηλές θερμοκρασίες σχηματίζεται CO₂, ενώ σε υψηλότερες CO. Η ένωση με το H₂O, καθώς και η αντίδραση Boudouard είναι ενδόθερμη σε αντίθεση με τη οξείδωση του C που είναι εξώθερμη.

Στο διάγραμμα του Σχήματος 4.2 απεικονίζονται οι καμπύλες ισορροπίας της αεριοποίησης του C συναρτήσει της θερμοκρασίας.



Σχήμα 4.2: Καμπύλες ισορροπίας της αεριοποίησης C συναρτήσει της θερμοκρασίας

Το στερεό υπόλειμμα παρουσιάζει προσροφητικές ιδιότητες παρόμοιες με τον εμπορικό ενεργό άνθρακα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εγκαταστάσεις τριτοβάθμιας επεξεργασίας λυμάτων ή νερού που προορίζεται για διάφορες χρήσεις.

Με βάση την αρχή στην οποία στηρίζεται η μέθοδος, όπως και για την πυρόλυση, δεν παρατηρούνται εκπομπές αερίων τέτοιες όπως παρουσιάζονται κατά την εφαρμογή της καύσης. Σε κάθε περίπτωση όμως, αναφορικά με τις επιτρεπτές τιμές στις παραγόμενες εκπομπές κατά την πυρόλυση, αυτές ταυτίζονται με το σύνολο των τεχνικών θερμικής επεξεργασίας των στερεών αποβλήτων και ισχύουν τα αναφερόμενα για τη μέθοδο της καύσης – αποτέφρωσης.

4.3 Πλεονεκτήματα της αεριοποίησης - επιπτώσεις στο περιβάλλον

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της αεριοποίησης είναι ότι όχι μόνο παράγει ένα χρήσιμο αέριο προϊόν, αλλά επίσης δεν παράγει επιβλαβείς στάχτες. Η καύση των αποβλήτων και των μη αερίων καυσίμων έχει πάντα ως αποτέλεσμα την παραγωγή στάχτης και σε κάποιες περιπτώσεις πάνω από το 30% της εισερχόμενης

μάζας. Ενώ η στάχτη του πυθμένα μπορεί να έχει κάποια χρήση σαν συστατικό για υλικά χτισίματος, η αέρια πρέπει πάντα να διαμοιραστεί στο έδαφος. Η διάθεση αυτή της στάχτης μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα σημαντικό κόστος για όλες τις επιχειρήσεις.

Όταν το μεταποιημένο από την αεριοποίηση αέριο χρησιμοποιείται σαν καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας, είναι φυσικό να προκύψουν κάποιες εκπομπές στον αέρα. Οι εκπομπές αυτές συνδέονται άμεσα με την καύση οποιουδήποτε καυσίμου, όπως του οξειδίου του αζώτου και του μονοξειδίου του άνθρακα στα εκφεύγοντα από τις καύσεις των μηχανών αέρια. Παρόλα αυτά, καθώς το αέριο που παράγεται από την αεριοποίηση καθαρίζεται, η απελευθέρωση των ρύπων όπως του διοξειδίου του θείου, των μετάλλων, των πτητικών οργανικών ουσιών και της διοξίνης θα είναι πολύ μικρότερη συγκριτικά με κάθε άλλη άμεση, θερμική διαδικασία οξείδωσης, όπως η αποτέφρωση.

4.4 Αεριοποίηση πλάσματος

4.4.1 Εισαγωγή

Η πρόοδος της τεχνολογίας και οι μακροχρόνιες έρευνες για την αντιμετώπιση των μειονεκτημάτων της αεριοποίησης κατέληξαν στην ανακάλυψη μιας νέας μεθόδου, της αεριοποίησης πλάσματος, το 1995, η οποία αποτελεί ίσως την πιο σύγχρονη τεχνολογία επεξεργασίας απορριμμάτων.

Ο όρος πλάσμα (plasma) περιγράφει κάθε αέριο του οποίου τουλάχιστον ένα ποσοστό των ατόμων ή μορίων του είναι μερικά ή ολικά ιονισμένο. Ο ιονισμός αυτός μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους. Στην περίπτωση της επεξεργασίας αποβλήτων με την τεχνική του πλάσματος, το αέριο μεταπίπτει στην κατάσταση του πλάσματος συνήθως με τη βοήθεια της θερμότητας που δημιουργείται από ηλεκτρική αντίσταση τόξου στήλης πλάσματος. Το τόξο αυτό βρίσκεται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων (άνοδος και κάθοδος) και αποτελείται από ένα ηλεκτρικά αγωγίμο αέριο, μετατρέποντας έτσι τον ηλεκτρισμό σε θερμότητα. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνονται πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τις υπόλοιπες τεχνικές θερμικής επεξεργασίας. Πιο συγκεκριμένα, η μέση θερμοκρασία του αερίου μπορεί να υπερβεί τους 6000°C. Το αέριο σε κατάσταση πλάσματος, παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερη χημική δραστηριότητα συγκριτικά με τα περισσότερα αέρια σε μεγάλες θερμοκρασίες και πιέσεις και μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο σε μια

ποικιλία χημικών διαδικασιών. Τα πλεονεκτήματα από τη χρησιμοποίηση της τεχνολογίας αυτής προκύπτουν κατά κύριο λόγο από την υψηλή κινητική ενέργεια που χαρακτηρίζει τα ιόντα και τα ηλεκτρόνια του πλάσματος, αλλά και τα άτομα του ουδέτερου αερίου. Η μερική μεταφορά αυτής της ενέργειας στις χημικές ενώσεις κάνει δυνατές χημικές αντιδράσεις, οι οποίες δεν θα μπορούσαν να ενεργοποιηθούν από τις εξώθερμες αντιδράσεις των συμβατικών διαδικασιών καύσης.

Ο ήλιος και η αστραπή είναι δυο, φυσικά και μη ελεγχόμενα, παραδείγματα πλάσματος. Το πλάσμα, στην τεχνητή και ελεγχόμενη μορφή του, χρησιμοποιείται εδώ και πολλά χρόνια στη βιομηχανία σε διάφορες εφαρμογές, όπως στη χημική ανάλυση και στη μεταλλουργία. Τα τελευταία χρόνια, το πλάσμα εφαρμόζεται και στην ενεργειακή αξιοποίηση των απορριμμάτων, με τη μέθοδο της αεριοποίησης πλάσματος.



Εικόνα 4.1: Ράβδοι άνθρακα για αεριοποίηση πλάσματος

Σε διεθνές επίπεδο, η χρήση της τεχνολογίας αυτής βρίσκεται σε πιλοτικό – επιδεικτικό στάδιο και η σχετική εμπειρία είναι περιορισμένη. Εν τούτοις, η τεχνική αυτή μπορεί να εξελιχθεί και να επεκταθεί σε ευρεία κλίμακα, ειδικά εάν ληφθούν υπόψη τα εξής:

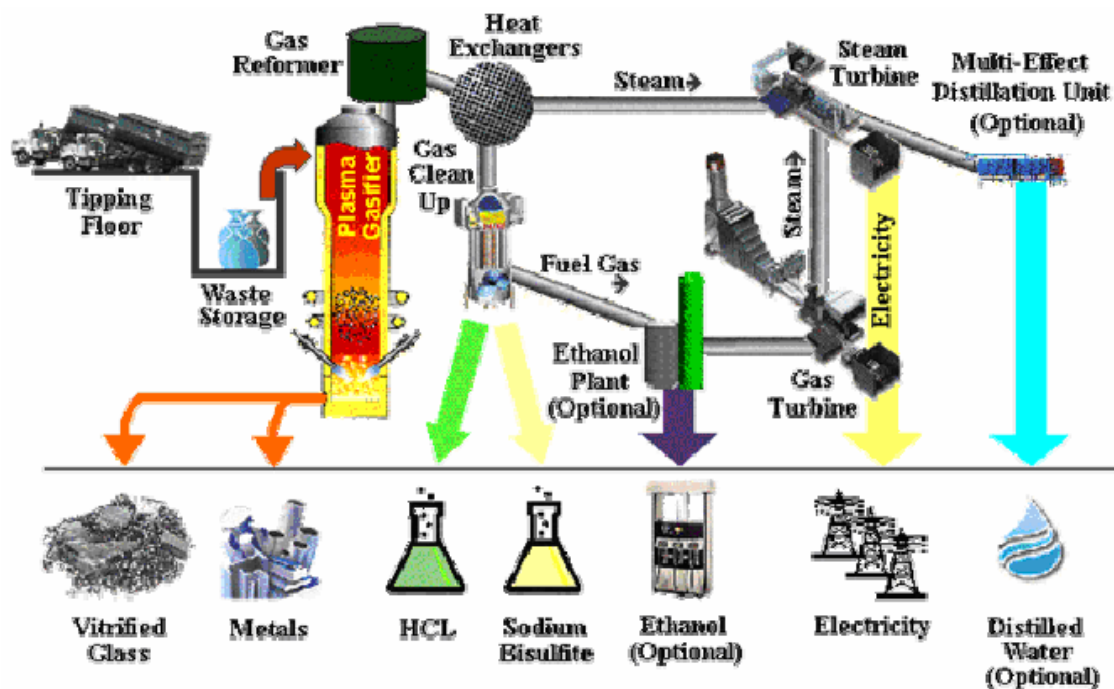
- Οι μονάδες πλάσματος χαρακτηρίζονται από συγκριτικά μικρότερες απαιτήσεις χώρου, σε σχέση με τις άλλες θερμικές μεθόδους επεξεργασίας.
- Η άνοδος της θερμοκρασίας σε υψηλά επίπεδα επιτρέπει την επεξεργασία των αποβλήτων σε ένα κύριο στάδιο, περιορίζοντας την πολυπλοκότητα της μεθόδου.
- Οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται οδηγούν σε αύξηση της ταχύτητας των αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα.

- Η μέθοδος παρουσιάζει σημαντική ευελιξία αναφορικά με το είδος των προς επεξεργασία αποβλήτων και επιπλέον, οδηγεί στην παραγωγή λιγότερων αερίων, μειωμένου ρυπαντικού φορτίου σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους καύσης.

4.4.2 Διαδικασία αεριοποίησης πλάσματος

Η διαδικασία της επεξεργασίας των απορριμμάτων με τη μέθοδο της αεριοποίησης πλάσματος μπορεί να χωριστεί σε τέσσερις φάσεις:

- το χειρισμό των υλικών,
- το θερμικό μετασχηματισμό ή την αεριοποίηση του πλάσματος,
- την ανάκτηση αερίου και
- την παραγωγή ατμού και ενέργειας.



Σχήμα 4.3: Σχηματική αναπαράσταση εγκατάστασης αεριοποίησης

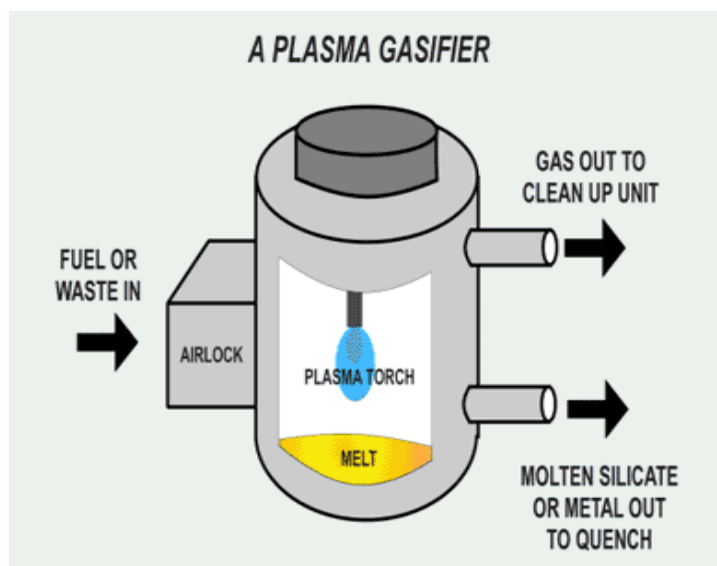
4.4.2.1 Χειρισμός υλικών

Αρχικά, τα εισερχόμενα απορρίμματα ζυγίζονται και μετά αποτίθενται σε κάποιο από τα φορτηγά που χρησιμοποιούνται ως μεταφορικά μέσα για να μεταφέρουν τα απορρίμματα. Δεν είναι απαραίτητος κάποιος ιδιαίτερος χειρισμός. Ο μόνος διαχωρισμός που απαιτείται θα γίνει σε υπερμεγέθη κομμάτια που δεν χωράνε στο φορτηγό, σε βαριά μεταλλικά αντικείμενα όπως μηχανές, που μπορούν να μειώσουν την ταχύτητα του φορτηγού, ή αντικείμενα που χρειάζονται ειδική

προεπεξεργασία, όπως ψυγεία, καταψύκτες και A.C. που χρειάζεται να μετακινηθεί το Freon. Επικίνδυνα απορρίμματα και ιατρικά απόβλητα χειρίζονται ξεχωριστά και δεν αναμιγνύονται με άλλα απόβλητα. Το σύστημα είναι σχεδιασμένο ώστε να επεξεργάζεται απορρίμματα όσο το δυνατόν πιο γρήγορα. Κατά τη διάρκεια των ωρών διανομής τα απορρίμματα διανέμονται πιο γρήγορα από ότι αεριοποιούνται. Μέρος των απορριμμάτων αποθηκεύεται για επεξεργασία τη νύχτα, τα σαββατοκύριακα και τις διακοπές. Τα υπερμεγέθη υλικά μεταφέρονται και κατόπιν οδηγούνται στην αποθήκευση. Ο κύκλος των απορριμμάτων ολοκληρώνεται κάθε 3-4 μέρες. Αν για οποιοδήποτε λόγο η εγκατάσταση σταματήσει να λειτουργεί τα απορρίμματα που λαμβάνονται οδηγούνται σε περιοχές αποθήκευσης που έχουν σχεδιασθεί για να χειρίζονται αυτό τον ξαφνικό φόρτο.

4.4.2.2 Ο θερμικός μετασχηματισμός των απορριμμάτων

Τα απορρίμματα εγχέονται στο επάνω μέρος του θερμικού μετασχηματιστή (αναφέρεται και ως αεριοποιητής πλάσματος ή αντιδραστήρας) και συσσωρεύεται στο σώμα του αντιδραστήρα. Το πλάσμα βρίσκεται στον πάτο του αντιδραστήρα και παράγει φλόγα μεταξύ 5000-8000 F.



Σχήμα 4.4: Αεριοποιητής πλάσματος

Το οργανικό υλικό δεν καίγεται γιατί δεν υπάρχει αρκετό οξυγόνο, αλλά μετατρέπεται σε αέριο που αποτελείται από CO, H₂ και N. Αυτό το αέριο περιέχει ουσιαστική ενέργεια και μπορεί να χρησιμοποιηθεί με πολλούς τρόπους. Το καυτό αέριο ανεβαίνει μέσω των συσσωρευμένων απορριμμάτων στον αντιδραστήρα και

ξεκινά η αεριοποίηση στο υλικό που είναι συσσωρευμένο στον αντιδραστήρα. Μέχρι να φτάσουν τα απορρίμματα στον πάτο του αντιδραστήρα, μέσω της υψηλής θερμοκρασίας, όλες οι οργανικές ενώσεις έχουν μετατραπεί σε αέρια.

Το αέριο που διαφεύγει από την κορυφή του αντιδραστήρα είναι φτιαγμένο πρωταρχικά από CO, H₂, H₂O και N. Περιέχονται επίσης μικρές ποσότητες χλωρίου, σουλφιδίου του υδρογόνου, CO₂ και μέταλλα με σημεία βρασμού λιγότερο από 2280 F. Λόγω της έλλειψης οξυγόνου και της υψηλής θερμοκρασίας, τα βασικά στοιχεία του αερίου δεν μπορούν να σχηματίσουν τοξικές ενώσεις όπως φουράνες, διοξίνες NO_x, ή διοξείδιο του θείου στον αντιδραστήρα.

Καθώς το αέριο βγαίνει από τον αντιδραστήρα πρώτα πηγαίνει σε ένα ιδιόκτητο αναμορφωτή αερίου και μετά ψύχεται σε μια σειρά εναλλακτών θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας. Η θερμοκρασία μειώνεται στους 270 F περίπου και χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού.

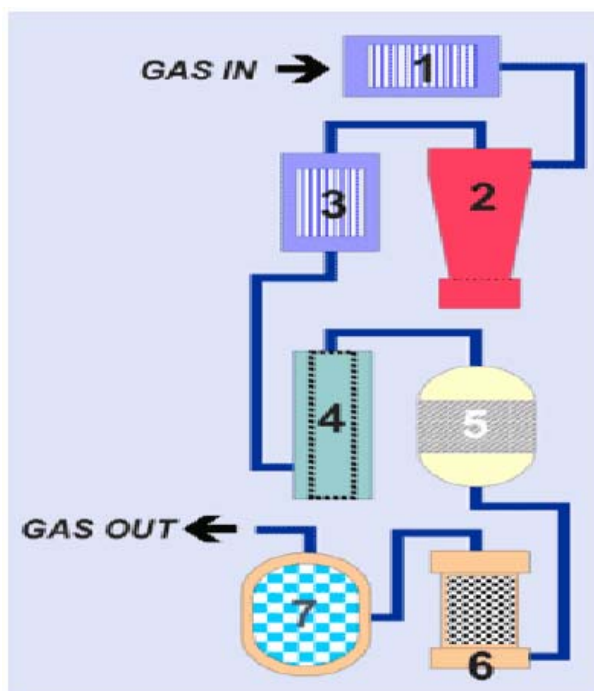
Οι υψηλές θερμοκρασίες από το πλάσμα υγροποιούν όλα τα ανόργανα υλικά όπως τα μέταλλα, το γυαλί, το διοξείδιο του πυριτίου κ.λ.π. Τα μέταλλα και το γυαλί ρέουν από τον αντιδραστήρα και οδηγούνται σε ένα χώρο που καθαρίζονται με νερό. Στο τέλος του θερμικού μετασχηματισμού δεν έχουν μείνει άλλα απορρίμματα. Όλα τα απορρίμματα ανακυκλώθηκαν σε μέταλλο, γυαλί ή έχουν μετατραπεί σε αέριο καύσιμο.

4.4.2.3 Επεξεργασία παραγόμενων αερίων

Το αέριο εξερχόμενο από τον αντιδραστήρα ακολουθεί την πορεία που φαίνεται στο σχήμα, και είναι η ακόλουθη:

- Περνά από τον αρχικό εναλλάκτη θερμότητας, όπου η θερμοκρασία του μειώνεται από τους 1000°C στους 650°C (βλ. Σχ.4.2 (1)).
- Έπειτα, το αέριο περνά στον διαχωριστή κυκλώνα υψηλής θερμοκρασίας όπου, περίπου το 85% των σωματιδίων απομακρύνεται. Ένα μικρότερο ποσοστό των μετάλλων παρασύρεται μαζί τους και εγχέονται στο λιωμένο γυαλί. Τα συστατικά του γυαλιού είναι κλειδωμένα στη μήτρα του αντιδραστήρα και δεν μπορούν να διαφύγουν (βλ. Σχ.4.2 (2)).
- Περνά από έναν ακόμα εναλλάκτη θερμότητας. Σε αυτή τη φάση μπορεί να γίνει και ανάκτηση θερμότητας εάν αυτό είναι επιθυμητό (βλ. Σχ.4.2 (3)).

- Το αέριο περνά μέσα από μια συσκευή καθαρισμού αερίων όπου το υδροχλωρικό οξύ καθαρίζεται. Το υγρό αυτό περνά από μια σειρά μεμβρανών όπου τα σωματίδια και τα μέταλλα απομακρύνονται. Τα μέταλλα και τα σωματίδια σε αυτό το στάδιο δεν μπορούν να επιστραφούν στο γυαλί, αλλά μπορούν να πωληθούν σε ένα διυλιστήριο ή να μεταφερθούν σε ΧΥΤΑ. Αυτό το μικρό ποσοστό υλικού είναι το μόνο υλικό που μπορεί να γυρίσει πίσω στον ΧΥΤΑ και αντιπροσωπεύει λιγότερο από το 1% των πρώτων υλών τροφοδοσίας (βλ. Σχ.4.2 (4)).
- Υφίσταται επιλεκτική καταλυτική οξειδωση για την απομάκρυνση των NO_x (βλ. Σχ.4.2 (5)).
- Περνά από κατακόρυφο διαχωριστή για την απομάκρυνση των οξέων και των πτητικών ουσιών (βλ. Σχ.4.2 (6)).
- Τελικός καθαρισμός με ενεργό άνθρακα. Οι υδρατμοί στο αέριο συμπυκνώνονται και χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία της υπόλοιπης εγκατάστασης με καθαρό νερό. Το αέριο τότε πηγαίνει στην τουρμπίνα αερίου. Το H_2S μετατρέπεται σε διοξείδιο του θείου. Μετά την εκκένωση της τουρμπίνας, τα αέρια οδηγούνται σε μια συσκευή καθαρισμού όπου το SO_2 μετατρέπεται σε NaSH . Η τελευταία διαδικασία έχει μικρότερο κόστος αλλά απαιτεί περισσότερο υδροξείδιο του νατρίου και έχει μεγαλύτερο κόστος λειτουργίας (βλ. Σχ.4.2 (7)).



Σχήμα 4.5: Σχηματική αναπαράσταση καθαρισμού απαερίων

4.4.2.4 Παραγωγή ατμού και ενέργειας

- Ο ατμός υψηλής πίεσης από τον πρώτο εναλλάκτη θερμότητας πηγαίνει σε μια τουρμπίνα ατμού όπου μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται καλύπτει τις περισσότερες απαιτήσεις για εσωτερική ενέργεια.
- Το καύσιμο αέριο πηγαίνει σε μια τουρμπίνα αερίου/ ατμού για να παράξει ηλεκτρική ενέργεια.
- Όλη η διαθέσιμη θερμότητα χρησιμοποιείται για να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια ή ατμός. Η θερμοκρασία εκκένωσης της τουρμπίνας είναι λιγότερο από 270 F.
- Μια εγκατάσταση σχεδιασμένη για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να παράξει περίπου 1 MW ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε τόνο απορριμμάτων, που όμως εξαρτάται από το περιεχόμενο υγρασίας και τον χαρακτηρισμό των απορριμμάτων.

4.4.3 Παράμετροι λειτουργίας αεριοποίησης πλάσματος

Κατά τη λειτουργία της εγκατάστασης αεριοποίησης/υαλοποίησης με την τεχνική πλάσματος, πρέπει να ελέγχονται οι εξής παράμετροι:

- ρυθμός τροφοδοσίας εισερχόμενων ρευμάτων αποβλήτων,

- θερμοκρασία φλόγας πλάσματος – θαλάμου αεριοποίησης,
- ρυθμός ροής παραγόμενου αερίου,
- θερμοκρασία στο δευτερογενή θάλαμο καύσης,
- ρυθμός ροής απαερίων στο δευτερογενή θάλαμο καύσης.

Οι παραπάνω παράμετροι λειτουργίας των μονάδων αυτών βρίσκονται στο στάδιο της διερεύνησης και βελτιστοποίησης και εξαρτώνται άμεσα από τα χαρακτηριστικά των προς επεξεργασία αποβλήτων. Με την τεχνική αυτή και με κατάλληλες τροποποιήσεις θεωρείται πως μπορούν να υποστούν επεξεργασία όλα τα ρεύματα αποβλήτων. Ενδιαφέρον ακόμη δημιουργείται από τη μεγάλη ποικιλία ειδών παραγόμενου πλάσματος (οξυγόνο, άζωτο, μονοξείδιο του άνθρακα, αργό, ατμοσφαιρικός αέρας, ήλιο, κ.λ.π.), από το εύρος τιμών πίεσης (κοντά στο κενό έως 20 ατμόσφαιρες) και ισχύος (100 kW έως 10 MW).

Η ανάγκη να ελέγχεται ένας μεγάλος αριθμός παραμέτρων δημιουργεί απαιτήσεις για υψηλού βαθμού αυτοματοποίηση έτσι ώστε να είναι εφικτός και αποτελεσματικός ο έλεγχος της συνολικής διαδικασίας. Βασικές επιδιώξεις κατά τη ρύθμιση των παραμέτρων λειτουργίας τέτοιων μονάδων είναι η πλήρης καταστροφή των εισερχόμενων αποβλήτων, οι χαμηλότερες δυνατές συγκεντρώσεις των επικίνδυνων ουσιών που περιέχονται στα απαέρια (π.χ. διοξίνες, φουράνια), η καλύτερη ποιότητα του παραγόμενου αερίου σύνθεσης με έμφαση στη θερμογόνο δύναμή του, οι καλύτερες ιδιότητες του στερεού υπολείμματος ως κατασκευαστικό υλικό, το χαμηλό ρυπαντικό φορτίο των παραγόμενων υγρών αποβλήτων από τον καθαρισμό των απαερίων και η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.

4.4.4 Προϊόντα της αεριοποίησης πλάσματος

Εφαρμόζοντας την τεχνική του πλάσματος, λαμβάνει χώρα η αεριοποίηση/υαλοποίηση του περιεχομένου των εισερχομένων στερεών αποβλήτων. Πιο συγκεκριμένα, υπό την επίδραση των πολύ υψηλών θερμοκρασιών το οργανικό κλάσμα των αποβλήτων αεριοποιείται και σχηματίζει το αέριο σύνθεσης (μίγμα μονοξειδίου του άνθρακα και υδρογόνου) και απαέρια. Ο χρόνος που απαιτείται προκειμένου να λάβει χώρα η καταστροφή των οργανικών ενώσεων εξαρτάται από την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας και το χρόνο παραμονής των οργανικών ενώσεων στην ιονισμένη ατμόσφαιρα ή σε υψηλή θερμοκρασία. Παράλληλα, το

ανόργανο μέρος των αποβλήτων μετατρέπεται σε τηγμένο υπόλειμμα, το οποίο μετά από ψύξη σχηματίζει ένα σταθερό, αδρανές, υψηλής πυκνότητας υαλώδες υλικό.

Τα τελικά προϊόντα από την εφαρμογή της τεχνολογίας του πλάσματος είναι:

Το παραγόμενο αέριο σύνθεσης (SNG), το οποίο προκύπτει από την πλήρη αεριοποίηση όλων των πτητικών συστατικών (οργανικό μέρος των αποβλήτων) του εισερχόμενου ρεύματος. Η σύσταση του αερίου καθώς και το ενεργειακό του περιεχόμενο, εξαρτώνται άμεσα από το είδος και το οργανικό περιεχόμενο του εισερχόμενου προς επεξεργασία ρεύματος αποβλήτων. Το παραπάνω μίγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αποδοτικό καύσιμο στη μονάδα πλάσματος μειώνοντας με τον τρόπο αυτό το λειτουργικό κόστος ή εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εμπορεύσιμο προϊόν.

Το υαλώδους μορφής αδρανές υλικό το οποίο δημιουργείται από την υαλοποίηση του ανόργανου μέρους των επεξεργαζόμενων αποβλήτων. Το υπόλειμμα αυτό είναι ομογενές και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κατασκευαστικό υλικό σε διάφορες εφαρμογές (π.χ. κατασκευή δρόμων).

Τα απαέρια, τα οποία ύστερα από κατάλληλα επεξεργασία διοχετεύονται στην ατμόσφαιρα. Αναφορικά με τα ανώτατα επιτρεπτά όρια των εκπομπών από μονάδες που χρησιμοποιούν την τεχνολογία του πλάσματος, ισχύουν τα ίδια όρια με τις υπόλοιπες μονάδες θερμικής επεξεργασίας.

Τα υγρά απόβλητα, τα οποία προκύπτουν από τη διαδικασία καθαρισμού των απαερίων. Ανάλογα με την ποιοτική και ποσοτική σύσταση των αποβλήτων αυτών, είναι δυνατόν να απαιτείται εγκατάσταση επεξεργασίας τους έτσι ώστε να είναι ασφαλής η τελική τους διάθεση.

4.4.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου

Η αεριοποίηση του πλάσματος είναι μια τεχνική με πολλά πλεονεκτήματα όπως:

- Έχει μικρές εκπομπές αερίων επιβλαβών για το περιβάλλον. Όταν το πλάσμα που έχει μετατραπεί σε αέριο χρησιμοποιείται ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας, προκαλεί κάποιες εκπομπές στην ατμόσφαιρα. Παρόλα αυτά, καθώς το πλάσμα μετατρέπεται σε αέριο καθαρίζεται και έτσι η απελευθέρωση ουσιών που μολύνουν όπως το SO₂, κάποια μέταλλα, οι διοξίνες θα είναι πολύ χαμηλότερη από ότι π.χ. στην αποτέφρωση.

- Η αεριοποίηση του πλάσματος μπορεί να μεταχειριστεί επικίνδυνα και μη απορρίμματα. Μια εγκατάσταση αεριοποίησης πλάσματος μπορεί να επεξεργαστεί αστικά, τοξικά και νοσοκομειακά απόβλητα ή μίξη και των τριών.
- Η αεριοποίηση του πλάσματος είναι μια τεχνική όπου τα απορρίμματα δεν αποτεφρώνονται. Έτσι δεν έχει τα μειονεκτήματα που παρουσιάζονται στην αποτέφρωση.
- Η αεριοποίηση του πλάσματος δεν παράγει τέφρα ή άλλα παραπροϊόντα όπως αλλοιωμένη βιομάζα που πρέπει να αποτεθεί σε ΧΥΤΑ μετά την αρχική επεξεργασία. Έτσι δεν έχουμε κόστος διάθεσης για τα παραπροϊόντα.
- Η ανάκτηση υλικών είναι μεγαλύτερη από οποιαδήποτε άλλη θερμική τεχνική. Έτσι από το να χρησιμοποιεί ακατέργαστα υλικά η αεριοποίηση του πλάσματος τα παράγει.
- Η ανάκτηση ενέργειας είναι μεγαλύτερη από οποιαδήποτε άλλη τεχνική (π.χ κάυση), γι' αυτό τα έσοδα από την πώληση ενέργειας μεγιστοποιούνται.
- Οι εκπομπές σε αέρα, νερό και έδαφος είναι οι χαμηλότερες από κάθε άλλη διαδικασία.
- Η αεριοποίηση του πλάσματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας από μη αέρια καύσιμα.
- Οι εκπομπές στην ατμόσφαιρα κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι ίσες με αυτές από εγκαταστάσεις με φυσικό αέριο. Αφού το πλάσμα που μετατρέπεται σε αέριο είναι ίδιας ποιότητας με το φυσικό αέριο, το προφίλ των εκπομπών είναι όμοιο. Το ακριβές προφίλ των εκπομπών εξαρτάται από το σύστημα καύσης που χρησιμοποιείται (όσο καλύτερο σύστημα τόσο καλύτερο προφίλ).
- Αφού κάθε ουσία βασισμένη στον C που υπάρχει στον αεριοποιητή πλάσματος μετατρέπεται σε αέριο, έτσι καθεμία από αυτές τις ουσίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο. Αυτό προσφέρει μεγάλη λειτουργική προσαρμοστικότητα σε όποιον χρησιμοποιεί την αεριοποίηση του πλάσματος. Την πρώτη εβδομάδα μπορεί να χρησιμοποιήσει C ως καύσιμο, την άλλη αργό πετρέλαιο ή επίσης οποιουδήποτε είδους βιομάζα. Αυτό

προσφέρει την ικανότητα να επιτύχουμε τους στόχους μας για ανάκτηση ενέργειας και χωρίς μετατροπή σε πολύπλοκα συστήματα.

- Αφού το αέριο που προκύπτει με τη μέθοδο πλάσματος, τροφοδοτείται σε τουρμπίνες αερίου μπορεί να επιτευχθεί υψηλότερη ικανότητα μετατροπής. Παρόλο που η ικανότητα μετατροπής δεν μπορεί να φτάσει αυτήν ενός κύκλου εγκατάστασης (γιατί πρέπει ο αεριοποιητής να επανατροφοδοτείται με ενέργεια) η ικανότητα μετατροπής φυσιολογικά θα είναι μεγαλύτερη από ένα σύστημα ατμογεννήτριας.
- Έχει χαμηλότερη οπτική όχληση από τις μονάδες καύσης

Ωστόσο έχει και μερικά μειονεκτήματα όπως:

- υψηλό ρίσκο διότι αποτελεί ακόμα νέα τεχνολογία,
- απαιτείται προεπεξεργασία των εισερχομένων ΑΣΑ πριν την αεριοποίηση

Συνοψίζοντας, η αεριοποίηση είναι μια μέθοδος που εμφανίζει συγκριτικό πλεονέκτημα σε σχέση με την αποτέφρωση, κυρίως στις μειωμένες εκπομπές αερίων ρύπων. Ωστόσο δεν είναι ακόμη πλατιά δοκιμασμένη (πέρα από τις εγκαταστάσεις οριζόντιας κλίνης) και απαιτείται πρόσθετη έρευνα για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

5.1 Εισαγωγή

Με την ραγδαία οικονομική εξέλιξη έχουν αναπτυχθεί προηγμένες μέθοδοι διαχείρισης των απορριμμάτων, οι οποίες μπορούν να εφαρμοσθούν είτε για το σύνολο είτε για κλάσμα του συνόλου των απορριμμάτων και οι οποίες δεν είναι κατ' ανάγκη ανταγωνιστικές αλλά συχνά μπορεί να είναι συμπληρωματικές.

Τέτοιες μέθοδοι είναι και οι θερμικές και συγκεκριμένα η καύση, η πυρόλυση και η αεριοποίηση, οι οποίες αναπτύχθηκαν αναλυτικά στα προηγούμενα κεφάλαια. Στόχος των μεθόδων αυτών είναι η επίλυση του σοβαρού προβλήματος της διαχείρισης των στερεών αποβλήτων πραγματοποιώντας παράλληλα, όπου υπάρχει δυνατότητα, ανάκτησης ενέργειας.

Για την επιλογή της βέλτιστης μεθόδου (ή συνδυασμού μεθόδων) πρέπει να πραγματοποιηθεί μια συγκριτική αξιολόγηση αυτών και να ληφθούν υπ' όψιν όλα τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους.

5.2 Σύγκριση

Η καύση επιτρέπει μια μεγάλη ελάττωση του όγκου και του βάρους των οικιακών απορριμμάτων, μετατρέποντας τα σε αέρια, θερμότητα και αποστειρωμένα αδρανή υλικά, τις σκουριές και τη τεφρά. Η ελάττωση αυτή του όγκου και του βάρους μπορεί να φτάσει το 98% και 60% αντίστοιχα. Θεωρείται, όμως, γενικά ακριβή μέθοδος. Προκαλεί σοβαρά προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, αν δεν εφαρμοστεί πολύ αποτελεσματική τεχνολογία και αποτελεί δυσάρεστο θέαμα ως τοπίο. Επιπλέον, προκαλεί ρύπανση και συσσώρευση τοξικών ουσιών στη διατροφική αλυσίδα, ενώ εκθέτει αστικές περιοχές σε επικίνδυνες ουσίες. Από την άλλη, μπορεί να συντελέσει στην παραγωγή ενέργειας, στην περίπτωση που η θερμογόνο δύναμη των απορριμμάτων είναι αρκετά υψηλή. Πριν την επεξεργασία των στερεών απορριμμάτων μπορούν να ανακτηθούν διάφορα χρήσιμα υλικά όπως, το χαρτί, το γυαλί, πλαστικά και μέταλλα, τα οποία έχουν σημαντικό ενεργειακό περιεχόμενο. Η ανακύκλωση χαρτιού και πλαστικού μειώνει κατά πολύ τις δυνατότητες καύσης των απορριμμάτων που απομένουν. Όταν τα απορρίμματα έχουν μικρή θερμογόνο

δύναμη, η καύση τους πρέπει να υποστηρίζεται με προσθήκη καυσίμου, πράγμα που αυξάνει το κόστος της μεθόδου. Επιπρόσθετα, απαιτείται αρκετή επεξεργασία των απορριμμάτων πριν την έναρξη της διαδικασίας της καύσης.

Η ολική καύση οδηγεί στη μέγιστη ελάττωση του όγκου των απορριμμάτων (97.5%) και στην απόκτηση πυκνού κοκκώδους κατάλοιπου χωρίς άκαυστο υλικό. Η ρύπανση, όμως, του αέρα από τα οξείδια του αζώτου, οι απαιτήσεις για πολύ ανθεκτικό εξοπλισμό, οι μεγάλες δαπάνες επενδύσεων και οι ανάγκες για πολύ ειδικευμένο προσωπικό αντισταθμίζουν το παραπάνω πλεονέκτημα της μεθόδου.

Η καύση που αποτελεί μια διαδεδομένη μέθοδο θερμικής επεξεργασίας απορριμμάτων με τις περισσότερες μονάδες σε λειτουργία στην Ευρώπη δημιουργεί αρκετά προβλήματα με σημαντικότερα την εκπομπή διοξινών και γι αυτό αντικαθίσταται από πιο αποτελεσματικές και σύγχρονες μεθόδους θερμικής επεξεργασίας όπως την αεριοποίηση και την πυρόλυση που παρουσιάζουν ενδιαφέρον ως προς τα χρήσιμα προϊόντα που παρέχουν (αέρια, υγρά και στερεά καύσιμα) και την αξιοσημείωτη δυνατότητα παραγωγής ενέργειας από αυτά.

Όσον αφορά την πυρόλυση, τα προϊόντα της έχουν θερμαντική αξία και για αυτό η μέθοδος θεωρείται ως επεξεργασία που απαιτεί περαιτέρω αξιοποίηση των στερεών καταλοίπων και των απαερίων. Τα πλεονεκτήματα της πυρόλυσης είναι:

- μια μειωμένη εκπομπή αερίου σε σύγκριση με την αποτέφρωση (περίπου 30%),
- μειωμένες εκπομπές PCDD/F, λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας της διαδικασίας,
- ενδεχόμενη αξιοποίηση των παραπροϊόντων,
- μειωμένο κόστος επένδυσης σε σχέση με την καύση.

Λόγω των παραπάνω πλεονεκτημάτων, σε εγκαταστάσεις μέχρι 200 000 t/έτος η πυρόλυση απορριμμάτων έχει σημαντική εφαρμογή σε σχέση με την καύση. Πλεονεκτήματα της πυρόλυσης ως προς το περιβάλλον είναι αφενός ο μικρός όγκος των αερίων σε σύγκριση με τα καπναέρια της καύσης, αφετέρου η μειωμένη συγκέντρωση των επιβλαβών ουσιών και αιωρούμενων σωματιδίων στα υπολείμματα, γεγονός το οποίο καθιστά τον καθαρισμό αυτών, πριν την διοχέτευσή τους στην ατμόσφαιρα, απλούστερο. Ο συντελεστής μείωσης υπολογίζεται σε 5 - 20 φορές λιγότερο.

Άλλες διαφορές μεταξύ της πυρόλυσης και της καύσης αποβλήτων είναι η θερμοκρασία λειτουργίας, όπου στην πυρόλυση είναι χαμηλότερη γεγονός το οποίο συνεπάγεται την χαμηλότερη θερμική καταπόνηση της εγκατάστασης και η

απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου, όπου για την πυρόλυση είναι κατά πολύ μικρότερη απ' ότι για την καύση.

Το ξεχωριστό πλεονέκτημα της πυρόλυσης, σε αντιπαράθεση με την καύση, είναι η καταστροφική αποσύνθεση της δομής των απορριμμάτων με την χρήση έμμεσης θερμοκρασίας χωρίς την παρουσία οξυγόνου. Τα απορρίμματα που αποτεφρώνονται με φλόγα παρουσία οξυγόνου μπορεί να γίνουν εκρηκτικά, δημιουργώντας στροβιλισμό μέσα στον κλίβανο, με την αποδέσμευση ποικιλίας αερίων. Η αποδόμηση των απορριμμάτων σε ένα πλούσιο σε οξυγόνο ατμοσφαιρικό περιβάλλον έχει μερική απόδοση, είναι μη αποτελεσματική και εγκυμονεί επικίνδυνες καταστάσεις.

Επιπρόσθετα κατά την πυρόλυση η διάσπαση πραγματοποιείται σε αναγωγική ατμόσφαιρα και όχι οξειδωτική όπως η καύση. Γι αυτό το λόγο και τα μέταλλα που περιέχονται στα απορρίμματα κατά την πυρόλυση δεν οξειδώνονται οπότε είναι πιο εύκολα εμπορεύσιμα. Ακόμα μια διαφορά της πυρόλυσης με την καύση είναι ότι κατά την πυρόλυση ουσιαστικά δεν παράγεται τέφρα οπότε επιτυγχάνεται άμεση ελαχιστοποίηση ή κατάργηση των ΧΥΤΑ σε αντίθεση με την αποτέφρωση όπου υψηλό ποσοστό των επεξεργασμένων απορριμμάτων τελικά αναγκαστικά καταλήγει σε ΧΥΤΑ.

Ένα από τα πιο συνηθισμένα λάθη είναι η ταύτιση της πυρόλυσης με την αεριοποίηση των απορριμμάτων. Οι δύο μέθοδοι έχουν ομοιότητες όπως τη μετατροπή των απορριμμάτων σε αέρια στερεά και υγρά καύσιμα αλλά παρουσιάζουν και βασική διαφορά κατά την εφαρμογή τους η οποία μπορεί να συνοψιστεί ως εξής: η πυρόλυση χρησιμοποιεί εξωτερική πηγή θερμότητας για να ενεργοποιηθούν οι ενδόθερμες αντιδράσεις θερμικής διάσπασης των απορριμμάτων σε συνθήκες απουσία οξυγόνου.

Η αεριοποίηση είναι αυτοσυντηρούμενη (χωρίς εξωτερική πηγή ενέργειας μετά το στάδιο της ανάφλεξης) και χρησιμοποιεί πρόσθετο καύσιμο αέριο όπως για παράδειγμα ατμό, διοξείδιο του άνθρακα αέρα ή οξυγόνο για την επιπλέον μετατροπή των οργανικών υπολειμμάτων σε αέρια προϊόντα. Η ενέργεια που απαιτείται για την αντίδραση αεριοποίησης παράγεται με καύση μέρους του οργανικού υλικού στον αντιδραστήρα αεριοποίησης.^[23]

Με βάση την αρχή στην οποία στηρίζεται η μέθοδος της αεριοποίησης, όπως και για την πυρόλυση, δεν παρατηρούνται εκπομπές αερίων τέτοιες όπως παρουσιάζονται κατά την εφαρμογή της καύσης. Τα τελικά προϊόντα της είναι αέριο

που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο, συμπυκνωμένο υγρό υπόλειμμα που παρουσιάζει σύσταση παρόμοια με αυτή του υγρού κλάσματος που παράγεται κατά την πυρόλυση και στερεό υπόλειμμα που αποτελείται από άνθρακα και αδρανή. Το στερεό υπόλειμμα έχει προσροφητικές ιδιότητες παρόμοιες με τον εμπορικό ενεργό άνθρακα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εγκαταστάσεις τριτοβάθμιας επεξεργασίας λυμάτων ή νερού που προορίζεται για διάφορες χρήσεις. Η θερμογόνος δύναμη του αέριου προϊόντος κυμαίνεται γύρω στα 150 Btu/ft³ όταν υπάρχει τροφοδοσία με αέρα και στα 300 Btu/ft³ όταν υπάρχει τροφοδοσία με καθαρό οξυγόνο.

Η μέθοδος της αεριοποίησης έχει ως αρχή την αποφυγή δημιουργίας αερίων εκπομπών το οποίο ισχύει και κατά την πυρόλυση σε αντίθεση με την καύση. Σε κάθε περίπτωση όμως, αναφορικά με τις επιτρεπτές τιμές στις παραγόμενες εκπομπές κατά την πυρόλυση και αυτές ταυτίζονται με το σύνολο των τεχνικών θερμικής επεξεργασίας των στερεών αποβλήτων.

Για την τεχνική πλάσματος, η υψηλή κινητική ενέργεια των ιόντων και των ηλεκτρονίων και τα άτομα του ουδετέρου αερίου δημιουργεί δυνατές χημικές αντιδράσεις, οι οποίες δεν θα μπορούσαν να ενεργοποιηθούν από τις εξώθερμες αντιδράσεις των υπόλοιπων διαδικασιών καύσης. Επιπλέον, οι μονάδες πλάσματος χαρακτηρίζονται από μικρότερες απαιτήσεις χώρου, σημαντική ευελιξία αναφορικά με το είδος των προς επεξεργασία αποβλήτων και παραγωγή λιγότερων αερίων μειωμένου ρυπαντικού φορτίου. Οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται επιτρέπουν την επεξεργασία των αποβλήτων σε ένα κύριο στάδιο, περιορίζοντας την πολυπλοκότητα της μεθόδου και αυξάνουν την ταχύτητα των αντιδράσεων.

Πίνακας 5.1: Συγκριτικός πίνακας μεθόδων

| | Καύση | Πυρόλυση | Αεριοποίηση |
|------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Απαιτούμενη ποσότητα αέρα/οξυγόνου | Στοιχειομετρική ή περίσσεια | Απουσία | Υποστοιχειομετρική |
| Ατμόσφαιρα | Οξειδωτική | Αναγωγική | Αναγωγική |
| Είδος αντιδράσεων που κυριαρχούν | Εξώθερμες | Ενδόθερμες | Εξώθερμες |
| Εξωτερική πηγή θερμότητας | Δεν χρειάζεται | Χρειάζεται | Δεν χρειάζεται |
| Θερμοκρασία λειτουργίας | Υψηλή | Χαμηλότερη από την καύση | |
| Παραγωγή διοξινών | Υψηλή | Χαμηλότερη | Χαμηλότερη |
| Νομοθεσία | Κοινή | Κοινή | Κοινή |
| Θερμική καταπόνηση εγκατάστασης | Υψηλή | Χαμηλότερη | Χαμηλότερη |
| Περιεχόμενα μέταλλα | Οξειδώνονται | Δεν οξειδώνονται | Δεν οξειδώνονται |
| Μείωση αρχικού όγκου απορριμμάτων | | Υψηλότερη από την καύση | Υψηλότερη από την καύση |
| Καθαρισμός αερίων | Δυσκολος | Απλούστερος από την καύση | Απλούστερος από την καύση |
| Αιωρούμενα σωματίδια | Περισσότερα | Λιγότερα | Λιγότερα |
| Παραγωγή τέφρας | Παράγεται | Δεν παράγεται | Δεν παράγεται |
| Αναγκαιότητα ύπαρξης ΧΥΤΑ | Υπάρχει ανάγκη | Δεν υπάρχει ανάγκη | Δεν υπάρχει ανάγκη |
| Αξιοπιστία - Εμπειρία | Μεγάλη | Μέτρια | Λίγη |
| Οπτική όχληση | Υψηλή | Χαμηλότερη | Χαμηλότερη |
| Ανάκτηση ενέργειας | Υπερέχει* | Υστερεί | Υστερεί |
| Ατμοσφαιρική ρύπανση | Υψηλή | Χαμηλότερη | Χαμηλότερη |

* Κίνδυνος ατελούς καύσης

**Μειωμένος κίνδυνος εκπομπών

Συνοψίζοντας, η καύση σαν μέθοδος είναι η μόνη που εφαρμόζεται στην πράξη και έχει την υψηλότερη απόδοση ανά μάζα απορριμμάτων λόγω του εξώθερμου των αντιδράσεων. Παρόλα αυτά ενέχει υψηλούς κινδύνους όσον αφορά τις αέριες εκπομπές λόγω πιθανότητας ατελούς καύσης. Μια επιτυχημένη εφαρμογή καύσης – πυρόλυσης θα ήταν ιδανική για την επίλυση του προβλήματος διαχείρισης των απορριμμάτων με ταυτόχρονη ανάκτηση ενέργειας.

Η αεριοποίηση αποτελεί μια νέα μέθοδο που εφαρμόζεται για την επεξεργασία των απορριμμάτων μόνο σε πειραματικό στάδιο. Είναι μια ενδιάμεση διεργασία της καύσης και της πυρόλυσης με σχετικά πολύ υψηλό κόστος.

5.3 Συμπεράσματα - Επίλογος

Στην εργασία που προηγήθηκε, παρουσιάστηκαν τρόποι ενεργειακής αξιοποίησης των απορριμμάτων. Ωστόσο, δεν δύναται να συναχθεί ένα συμπέρασμα γενικής εφαρμογής και να χαρακτηριστεί κάποια από τις μεθόδους ως περισσότερο αποτελεσματική. Αυτό συμβαίνει, για τον πολύ απλό λόγο, ότι η επιλογή του τρόπου διαχείρισης των απορριμμάτων διαφέρει σε κάθε περίπτωση. Η σωστή επιλογή εξαρτάται από τις συνθήκες της περιοχής, καθώς και από την σύνθεση και το ενεργειακό περιεχόμενο των παραγόμενων απορριμμάτων, το οποίο μεταβάλλεται από περιοχή σε περιοχή. Για παράδειγμα, η σύσταση και το ενεργειακό περιεχόμενο των απορριμμάτων που παράγονται στις Βορειοευρωπαϊκές χώρες θεωρείται καταλληλότερο για επεξεργασία με τη μέθοδο της καύσης, από αυτών που παράγονται στις Μεσογειακές. Η καύση, λοιπόν, αποφεύγεται στις Μεσογειακές χώρες, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας των απορριμμάτων των χωρών αυτών σε ζυμώσιμα υλικά.

Ο σκοπός της εργασίας είναι να παρέχει μια εικόνα των μεθόδων θερμικής επεξεργασίας απορριμμάτων, των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων τους, ώστε να είναι σε θέση να αποφασισθεί ποια είναι η καταλληλότερη μέθοδος ανάλογα με τα δεδομένα και τις ανάγκες της κάθε περίπτωσης.

Αναμφισβήτητα, όλες οι μέθοδοι που παρουσιάστηκαν έχουν μειονεκτήματα, και μάλιστα πολλές φορές, σημαντικά. Γι' αυτό, θα πρέπει ο πρωταρχικός στόχος να είναι μείωση των απορριμμάτων, μέσω της ανακύκλωσης και της επαναχρησιμοποίησης των υλικών. Η επεξεργασία θα πρέπει να περιορίζεται στα αναπόφευκτα απορρίμματα.

Το σημαντικότερο συμπέρασμα της εργασίας είναι ότι τα απορρίμματα μπορούν, με την κατάλληλη διαχείριση, να αποτελέσουν σημαντική πηγή ενέργειας και έτσι πρέπει να αντιμετωπίζονται. Στη σύγχρονη κοινωνία όπου ο ρυθμός εξάντλησης των φυσικών πόρων αυξάνεται συνεχώς, τα απορρίμματα μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο στην παραγωγή ενέργειας. Με τη βοήθεια της τεχνολογίας μπορούμε πλέον να πάρουμε ενέργεια από κάτι που μέχρι πρότινος θεωρούσαμε άχρηστο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Παναγιωτακόπουλος Χ. Δ., (2002), “Βιώσιμη Διαχείριση Αστικών Στερεών Αποβλήτων”, Εκδόσεις Ζυγός.
- [2] Σκορδίλης Δ. Αδαμάντιος (1997), “Η Θερμική Επεξεργασία Απορριμμάτων και RDF”, Εκδόσεις Technograph.
- [3] Μουσιόπουλος Ν., Καραγιαννίδης Α., (2002), “Σημειώσεις στο μάθημα Διαχείριση Απορριμμάτων”, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- [4] Κόλλια Σ. Παναγιώτου, (1993), “Απορρίμματα: Αστικά – Βιομηχανικά (Συλλογή, Μεταφορά, Ανακύκλωση Υλικών, Υγειονομική Ταφή, Λιπασματοποίηση, Καύση)”.
- [5] Χαλβαδάκης Π. Κ. (1998). “Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων”, Τμήμα Περιβάλλοντος, Τομέας Περιβαλλοντικής Μηχανικής και Επιστήμης, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
- [6] LaGrega, M.D., Buchingham P.L., Evans D.C., (2001), “Hazardous Waste Management” McGraw-Hill.
- [7] www.gtsenergy.com
- [8] Ζήκος Π. Β., (2005), “Επιλογή βέλτιστου σχεδιασμού μονάδας καύσης απορριμμάτων με την χρήση του προγράμματος Super Pro Designer – Εφαρμογή στην Περιφέρεια Κρήτης”, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- [9] Βάμβουκα Δ., (2002), “Αντιρυπογόνο Χρήσης Γαιανθράκων – Τεχνολογίες Αξιοποίησης Γαιανθράκων Χαμηλής Τάξης”, Εκδόσεις Ιων.
- [10] International Energy Agency, (1985), “The Clean Use of Coal”, A Technology Review.
- [11] Bohn, J., (1982) “Electrostatic Precipitations”, Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam, Netherlands.
- [12] Gronhovd, G.H., Sondreal, E.A., Kotowski, J. and Wiltsee, G., (1982), “Low-Rank Coal Technology-Lignite and Subbituminous”, Noyes Data Corporation, N.J.,USA.
- [13] Bilitewski B., (2006) “Pyrolysis, Gasification and Plasma Technologiess”, Proceedings Venice 2006: Biomass and Waste to Energy Symposium, Organized by International Waste Working Group (IWWG) and Environmental Sanitary Engineering Center (ESEC).

- [14] Alibardi L. and Crossu R., (2006), “Energy from Waste and Biomasses: Opportunities and State of the Art”, Proceedings Venice 2006: Biomass and Waste to Energy Symposium, Organized by International Waste Working Group (IWWG) and Environmental Sanitary Engineering Centre (ESEC).
- [15] www.EvangelosTrade.com
- [16] Papagiannakis K., (2003) “Generating Electricity from a 10MW MSW combustion plant in the area of Athens, Greece: A Feasibility Study”, University of Strathclyde in Glasgow, Department of Mechanical Engineering.
- [17] Bilitewski B., Hardtle G., Marek K., Weissbach A., (1997), “Boeddicker: Waste Management”, Springer Verlag, Heidelberg.
- [18] <http://www.ucm.org.cy/GR/Index.aspx>
- [19] “Incineration of Radioactive Waste”, (2002), RWE NUKEM GmbH,
- [20] www.bep.gr
- [21] Ανδρεαδάκης Α., “Σημειώσεις για το μάθημα: Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων και Ιλύος – Θερμική επεξεργασία αστικών στερεών απορριμμάτων και ιλύων”, Επιστήμη και τεχνολογία υδατικών πόρων, ΕΜΠ.
- [22] ΤΕΕ, (2006), “Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων στην Ελλάδα – Η περίπτωση της Αττικής”, Αθήνα.
- [23] Φαττά Δ., (2007), “Επεξεργασία Αστικών Στερεών Απορριμμάτων” Σημειώσεις Μαθήματος “Εισαγωγή στη Μηχανική Περιβάλλοντος”, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Κύπρου.